



**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN PONDASI SENJATA PADA KAPAL PERANG  
ANGKATAN LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

**Hari Prasetyo Widodo  
NRP 4112100105**

**Dosen Pembimbing  
Dony Setyawan, S.T, M.Eng.  
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





---

**TUGAS AKHIR - MN 141581**

**DESAIN PONDASI SENJATA PADA KAPAL PERANG  
ANGKATAN LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

**Hari Prasetyo Widodo  
NRP 4112100105**

**Dosen Pembimbing  
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.  
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



**FINAL PROJECT - MN 141581**

## **NAVAL WARSHIP'S GUN FOUNDATION DESIGN USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Hari Prasetyo Widodo  
NRP 4112100105**

**Supervisor  
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.  
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

# DESAIN PONDASI SENJATA PADA KAPAL PERANG ANGKATAN LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**HARI PRASETYO WIDODO**  
NRP 4112100105

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.  
NIP 19840921 201212 2 001

Dosen Pembimbing I



Dony Setyawan, S.T., M.Eng.  
NIP 19750320 199903 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 24 Januari 2018



# LEMBAR REVISI

## **DESAIN PONDASI SENJATA PADA KAPAL PERANG ANGKATAN LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

### **TUGAS AKHIR**

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 10 Januari 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**HARI PRASETYO WIDODO**

NRP 4112100105

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
NIP : 197007311995121001
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.  
NIP : 197304041997021001
3. Mohammad Sholikhhan Arif, S.T., M.T.  
NIP : 198906232015041003

.....  
.....  
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.  
NIP : 197304041997021001
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.  
NIP : 198409212012122001

.....  
.....

SURABAYA, 24 Januari 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. dan ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., Bapak Nurul Misbach, S.T., M.T., Bapak Mohammad Sholikhhan Arif, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Mahdiyyah yang selalu mendukung penulis dan membantu mengerjakan tugas akhir;
4. Andhika Yudha yang membantu penulis mengerjakan tugas akhir;
5. Kepada kedua orangtua yang selalu mendukung penulis;
6. Kepada kedua adik penulis yang tidak hentinya mendukung dan mengingatkan penulis;
7. Seluruh mahasiswa/mahasiswi Teknik Perkapalan angkatan 2012 yang selalu menemani penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 24 Januari 2018

Hari Prasetyo Widodo



# DESAIN PONDASI SENJATA PADA KAPAL PERANG ANGKATAN LAUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Hari Prasetyo Widodo  
NRP : 4112100105  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.  
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi pemasangan senjata di kapal sudah semakin canggih dengan kekuatan ledakan yang luar biasa, sehingga perlu dipastikan kembali bahwa pondasi senjata pada kapal perang dapat menahan beban yang dihasilkan oleh ledakan tersebut. Pengumpulan data-data seperti data kapal, data pondasi senjata, data material, dan data senjata digunakan untuk menghitung kekuatan dari senjata tersebut untuk menghitung kekuatan dari pondasi senjata. Data kapal yang digunakan adalah BRP Tarlac dengan panjang kapal 123 m, lebar 21.8 m, dan sarat 5 m. Senjata yang digunakan pada kapal tersebut OTO-Melara 76 mm. Material yang digunakan sesuai dengan aturan *rules Lloyd's Register* yang menyatakan bahwa bagian kapal yang berada diatas air harus dibuat dari material tahan ledakan atau nomenklatur *external blast* (EB1) dengan menggunakan material *Grade D Steel*. Penelitian dilanjutkan dengan menghitung pembebanan yang bekerja pada pondasi. Berat pondasi didapat dari perhitungan penjumlahan volume pelat pada lima sisi pondasi senjata. Berat senjata beserta amunisinya dengan maksimum amunisi didapat dari penjumlahan berat senjata yang telah diketahui dari internet dan berat amunisi yang dikalikan dengan maksimum amunisi yang diangkut. Penelitian dilanjutkan dengan menghitung gaya hentak mundur yang dihasilkan senjata dengan menggunakan rumus perhitungan energi. Berdasarkan *rules Lloyd's Register* terdapat tekanan yang dihasilkan pada saat senjata tersebut ditembakkan. Dilanjutkan dengan melakukan pemodelan dari data yang telah didapat. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan *analisis* pada model dan didapat *von mises stress* atau tegangan maksimum. Perbandingan dari *von mises stress* dan maksimum tegangan ijin dilakukan untuk mengetahui terjadinya deformasi plastis pada struktur. Perhitungan *endurance limit* dilakukan dengan melakukan perbandingan tegangan maksimum dan  $\sigma_{\max}$  untuk mengetahui apakah struktur mencapai titik lelah struktur. Faktor keamanan dilakukan dengan perbandingan tegangan ultimate dan tegangan maksimum untuk mengetahui apakah struktur memiliki faktor keamanan. Kesimpulan pada penelitian ini didapat bahwa semakin kecil atau tipis nya pelat maupun profil pada struktur pondasi senjata mengalami kenaikan yang tidak konstan sebesar 11-30% tegangan maksimumnya.

Kata kunci: *Analisis Elemen Hingga, Pondasi Senjata, Analisis Tegangan, Gaya hentak mundur senjata, Tekanan akibat tembakan senjata.*

# NAVAL WARSHIP'S GUN FOUNDATION DESIGN USING FINITE ELEMENT METHOD

Author : Hari Prasetyo Widodo  
Student Number : 4112100105  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : 1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.  
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

## ABSTRACT

In this era where technology makes advance weapons for ships and with incredible explosion. And because of that a gun foundation that can hold load of the gun is needed to be certainly strong. A few information is needed to calculate strenght of the gun foundation such as ships data, gun foundation data, material and weapon data. The information about ship that will be calculated is BRP Tarlac with her lenght is 123 m, her breadth 21.8 m and her draft 5 m. For the weapon that been used in that ships is unknown, but the description abut it's diameter is 76 mm and assumed that it's OTO-Melara 76 mn. And for it's material is also unknown, but regulations fron Lloyd's Register is that ships part that located above water must be explosion ressiistance or external blast nomenclature (EB1) that used Grade D material and assumed this ship use that material. After all of the information that needed is obtained, then calculate gun foundation weight force. The foundation weight is obtained from total plate volume that is total from five side volume on gun foundation. Gun weight and it's amunition with it's maximum amunition is obtained from gun weight that has been known from internet and amunition weight multiplied by maximum amunition. The analysis is continued by calculating recoil force with simple energy calculating formula. Based on Lloyd's Register regulation there's stress that generated when the gun is being fired. Then modelling is done by all of the data that has been obtained. After that the model structure is generating von mises stress and maximum stress by running model with ansys. Comparison between von mises stress and maximum stress is done to find out if there's plastic deformation on structure. Endurance limit calculation is done by comparing between maximum stress and  $\sigma_{\max}$  to find out if the structure reaching it's fatigue point. Safety factor is done by comparing between ultimate stress and maximum stress to find out if the structure have tha safety factor. Conclusion for this analysis is that if the plate or profile is smaller and thinner there's non constant increase in maximum stress between 11-30%.

*Keywords: Finite Element Analysis, Gun Foundation, Stress Analysis, Recoil Force, Gun Blast Pressure.*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang Masalah .....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	2
I.5.1. Manfaat Akademis.....	2
I.5.2. Manfaat Praktisi.....	3
I.6. Hipotesis.....	3
Bab II STUDI LITERATUR .....	5
II.1. Dasar Teori .....	5
II.1.1. Metode Elemen Hingga .....	5
II.1.2. Kapal BRP <i>Tarlac</i> (LD-601) .....	6
II.1.3. Peran <i>Naval Gun</i> pada Kapal Perang Modern.....	12
II.1.4. Peran <i>Modern Naval Gun</i> .....	14
II.1.5. Keuntungan Penggunaan Meriam dibandingkan dengan Rudal .....	15
II.1.6. <i>Naval Gun</i> .....	19
II.1.7. <i>Naval Gun 76 mm</i> .....	23
II.1.8. OTO Melara 76 mm <i>Compact</i> dan SR ( <i>Super Rapid</i> ).....	24
II.2. Tinjauan Pustaka .....	28
II.2.1. Material.....	29
II.2.2. Pembebanan.....	29
II.2.3. Kendala Desain.....	29
Bab III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
III.1. Metode.....	31
III.2. Jenis dan Sumber Data .....	31
III.2.1. Data Kapal .....	32
III.2.2. Data Material Pondasi.....	32
III.2.3. Data Dimensi dan Bentuk Pondasi .....	32
III.3. Bahan dan Alat Pengerjaan .....	32
III.4. Proses Pengerjaan.....	32
III.4.1. Tahap Identifikasi atau Latar Belakang Masalah.....	32
III.4.2. Tahap Perumusan Masalah .....	32

III.4.3.	Tahap Pengumpulan Data .....	33
III.4.4.	Tahap Pengolahan Data .....	40
III.4.5.	Tahap Pemodelan, Pengujian Model, dan Faktor Keamanan Struktur .....	51
III.4.6.	Tahap Kesimpulan dan Saran .....	55
III.5.	Bagan Alir .....	55
Bab IV	ANALISIS Kekuatan PONDASI SENJATA .....	57
IV.1.1.	Hasil Analisis Model .....	57
IV.2.	Menghitung Faktor Keamanan Struktur Pondasi Senjata .....	62
IV.2.1.	<i>Von Mises Stress</i> dan <i>Maximum Allowable Stress</i> .....	62
IV.2.2.	<i>Von Mises Stress</i> dan <i>Endurance Limit</i> .....	64
IV.2.3.	<i>Safety Factor</i> .....	65
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	67
V.1.	Kesimpulan .....	67
V.2.	Saran .....	67
	DAFTAR PUSTAKA .....	69
	LAMPIRAN	
	LAMPIRAN A BRP TARLAC	
	LAMPIRAN B KATALOG OTO MELARA SR DAN PELURU	
	LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN	
	BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Garis besar konsep metode elemen hingga .....	5
Gambar II.2 BRP Tarlac.....	6
Gambar II.3 <i>Augusta Westland 109</i> .....	7
Gambar II.4 Furuno X-band dan S-band. ....	7
Gambar II.5 (Kiri) <i>Samsung Techwin KAAV-7</i> dan (Kanan) <i>Daesun LCU-23</i> . ....	9
Gambar II.6 (Kiri) <i>Rigid-hulled Inflatable Boat</i> dan (Kanan) <i>Truck-based Mobile Hospital</i> . ..	9
Gambar II.7 Truk Kia KM-250. ....	9
Gambar II.8 BRP Tarlac sedang menuju Manila. ....	11
Gambar II.9 SSV-2 atau BRP Davao del Sur (LD-602).....	11
Gambar II.10 Senjata Meriam Modern pada Kapal Perang .....	12
Gambar II.11 <i>Non-Stealthy Gun Cupola</i> (AK-176) dan <i>Stealthy Gun Cupola</i> (OTO Melara 76 mm).....	13
Gambar II.12 OTO Melara 76 mm tanpa <i>cupola</i> . ....	13
Gambar II.13 <i>Gun</i> 155 mm dan 76 mm pada saat laras dikeluarkan. ....	14
Gambar II.14 <i>Gun</i> Bofor 57 mm pada saat laras didalam <i>casing</i> .....	14
Gambar II.15 Perahu Perompak .....	16
Gambar II.16 Amunisi dari Senjata Meriam Rusia AK-130 kaliber 130 mm.....	17
Gambar II.17 Kapal Patrol <i>Hayabusa-class</i> milik jepang menembakan <i>flares</i> . ....	18
Gambar II.18 Kapal Angkatan Laut Itali OTO Melara 127 mm, menembak pada jarak terdekat. ....	18
Gambar II.19 Senjata meriam pada kapal perang Amerika Serikat. ....	19
Gambar II.20 Bagian <i>Gun</i> . ....	20
Gambar II.21 <i>Naval Gun Stand</i> .....	21
Gambar II.22 <i>Firing Mechanism</i> .....	22
Gambar II.23 Perpotongan keseluruhan <i>gun</i> . ....	22
Gambar II.24 Senjata Meriam terpopuler didunia, OTO Melara 76 mm. ....	23
Gambar II.25 Varian STRALES pada senjata Meriam OTO Melara 76 mm. ....	23
Gambar II.26 Peluru DART .....	24
Gambar II.27 Sketsa OTO-Melara 76 mm (3'') Mark 75 (Compact) .....	25
Gambar II.28 <i>Gun Shield</i> .....	26
Gambar II.29 OtoBreda 76/62 SR dengan sitem DAVIDE/STRALES .....	27
Gambar II.30 OPV80 dengan senjata COTECMAR 76 mm.....	28
Gambar III.1 Spesifikasi <i>Strategic Sealift Vessels</i> . ....	33
Gambar III.2 LR Grade D.....	34
Gambar III.3 OTO-Melara Super Rapid.....	38
Gambar III.4 Amunisi 76 mm .....	39
Gambar III.5 Pondasi Senjata.....	39
Gambar III.6 Luasan Lingkaran A (kiri) dan B (kanan) .....	40
Gambar III.7 Ukuran Profil T.....	42
Gambar III.8 Profil L.....	44
Gambar III.9 Diameter terluar pilar 75 mm. ....	45
Gambar III.10 Arah <i>gun blast pressure</i> .....	47
Gambar III.11 Model Rumah Pondasi Senjata.....	51

Gambar III.12 Profil Penegar dan Pillar Untuk Tebal 6 mm .....	51
Gambar III.13 Grafik Konvergensi Tebal Pelat dan Profil 7 mm. ....	52
Gambar III.14 Grafik Konvergensi Tebal Pelat dan Profil 6 mm. ....	53
Gambar III.15 Grafik Validasi Tebal Pelat dan Profil 5 mm. ....	53
Gambar III.16 Material Grade D Steel Properties pada software.....	54
Gambar III.17 Gaya dan Berat yang bekerja .....	54
Gambar III.18 Bagan Alir.....	55
Gambar IV.1 Hasil Analisis <i>von mises</i> .....	57
Gambar IV.2 Grafik Pelat 7 mm .....	58
Gambar IV.3 Grafik Pelat 6 mm .....	59
Gambar IV.4 Grafik Pelat 5 mm .....	59
Gambar IV.5 Grafik Profil 7 mm .....	60
Gambar IV.6 Grafik Profil 6 mm .....	60
Gambar IV.7 Grafik Profil 5 mm .....	61
Gambar IV.8 Grafik Total .....	61
Gambar IV.9 Grafik perbandingan.....	63
Gambar IV.10 Grafik perbandingan.....	65
Gambar IV.11 Grafik Faktor Keamanan .....	66



## DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Karakteristik Senjata .....	35
Tabel III.2 Amunisi Senjata .....	36
Tabel III.3 Jarak Tembak Senjata.....	37
Tabel III.4 Mounting Senjata.....	37
Tabel III.5 Rangkuman Berat Pondasi, Profil & Pillar, dan Senjata. ....	45
Tabel III.6 Ringkasan besar gaya berdasarkan derajat penembakan.....	50
Tabel III.7 Hasil Analisis Konvergensi. ....	52
Tabel IV.1 Hasil Analisis (MPa). ....	58
Tabel IV.2 Tabel VonMises Stress.....	62
Tabel IV.3 Tabel Hasil perbandingan <i>von mises</i> dan <i>allowable stress</i> . ....	63
Tabel IV.4 Perbandingan <i>von mises stress</i> dan <i>endurance limit</i> . ....	64
Tabel IV.5 Faktor Keamanan .....	66

## DAFTAR SIMBOL

$\Phi_m$	= Panjang Laras Senjata, dalam mm
$x$	= Jarak titik ujung laras ( <i>Muzzle</i> ) hingga titik tekanan pada pondasi, dalam mm
$\theta$	= Sudut tembakan.
$E$	= <i>Young's Modulus</i>
$\nu$	= <i>Poisson's Ratio</i>
$R_{eH}$	= <i>Yield Stress</i>
$R_m$	= <i>Ultimate Stress</i>
$L$	= Panjang Kapal dalam m
$B$	= Lebar Kapal, dalam m
$H$	= Tinggi kapal, dalam m
$T$	= Sarat Kapal, dalam m
$g$	= Gaya Gravitasi, dalam $m/s^2$
$P_g$	= <i>Gun Blast Pressure</i> , dalam Pa
$W_a$	= Berat Proyektil, dalam Kg
$W_c$	= Berat <i>Propellant Charge</i> , dalam Kg
$W_r$	= Berat <i>Recoil Part</i> , dalam Kg
$V_o$	= Kecepatan <i>Muzzle</i> , dalam m/s
$B$	= Koefisien <i>aftereffect</i>
$V_{re}$	= <i>Free Recoil Velocity</i> , dalam m/s

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang Masalah**

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana 2/3 luas wilayahnya adalah perairan, sehingga kebutuhan armada transportasi laut sangat tinggi. Tahun 2005, Indonesia mengeluarkan UU no. 17 tahun 2008 dan menerapkan asas cabotage dimana semua kapal yang berada di perairan Indonesia haruslah berbendera Indonesia, sehingga industri Perkapalan di Indonesia berkembang pesat. Berdasarkan data dari Kementerian Perhubungan Republik Indonesia pada tahun 2005 produksi kapal dalam negeri adalah sebanyak 6.041 unit kapal dan pada tahun 2014 sebanyak 14.036 unit kapal. Pembahasan ini akan memberikan peluang yang sangat besar bagi pelaku Industri bidang perkapalan.

Industri pembangunan kapal laut telah dilirik oleh negeri tetangga kita yaitu Filipina. Terbukti Filipina memesan kapal perang berupa kapal SSV kepada PT. PAL yang merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Indonesia. Pembahasan penting yang menjadi prioritas pada kapal perang adalah stabilitas, struktur, pondasi, persenjataan dan juga kemampuan beroperasinya. Telah kita ketahui bahwa beberapa kehebatan kapal buatan Indonesia ini adalah mampu memuat 3 helikopter, 4 tank amfibi, 5 truk, ambulans, dan jip. Selain itu, tingkat keseimbangannya cukup tinggi dan pada saat melaju kecepatan penuh (16 knot), lalu mesin dinolkan tiba-tiba, kapal tetap melaju lurus. Tidak oleng atau berbelok. Kemampuan itu jarang dimiliki kapal lain. Tak cukup sampai di situ, kapal SSV buatan PT PAL itu mampu beroperasi nonstop 30 hari di laut.

Perlunya analisis kekuatan dari pondasi senjata pada kapal tersebut patut menjadi penelitian untuk menjadi ilmu yang dapat berkembang lebih maju kedepannya. Penelitian ini dilakukan karena belum adanya penelitian tentang kekuatan pondasi kapal ini. Persenjataan untuk kapal perang seiring berjalannya waktu pasti akan lebih berkembang dan lebih baik dari yang ada sekarang. Penelitian ini dilakukan untuk meninjau kekuatan dan juga keamanan dari pondasi ini.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil dari analisis kekuatan konstruksi pondasi senjata?
2. Apakah konstruksi pondasi senjata telah sesuai dengan aturan dan memiliki faktor keamanan?

## **I.3. Tujuan**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil dari analisis kekuatan konstruksi pondasi senjata.
2. Mengetahui faktor keamanan pada konstruksi pondasi senjata.

## **I.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Penelitian dilakukan pada kapal *strategic sealift vessel*, BRP Tarlac.
2. Penelitian dilakukan dengan asumsi senjata *Italy 76 mm/62 (3'')*.
3. Analisis yang dilakukan hanya pada pondasi senjata dan rumah pondasi senjata.
4. Perhitungan dilakukan menggunakan analisis linier statis.
5. Perhitungan gaya dilakukan dengan kondisi kapal diam dan berada diperairan tenang. (Tidak menghitung gaya yang terjadi pada saat *hogging* dan *sagging*, dan gaya dinamik inersia yang terjadi pada saat kapal bergerak dan menghantam ombak.)

## **I.5. Manfaat**

Manfaat dari pengerjaan tugas akhir ini sangatlah banyak dan dapat dibagi menjadi dua aspek penting:

### **I.5.1. Manfaat Akademis**

Manfaat akademis dari penelitian ini meliputi:

1. Memberikan informasi mengenai pondasi senjata pada kapal.
2. Memberikan informasi mengenai hasil analisis dari kekuatan pondasi senjata.

### **I.5.2. Manfaat Praktisi**

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini bagi praktisi:

1. Memberikan informasi seputar pondasi beserta dengan persenjataannya.
2. Menambah pemahaman *software* elemen hingga.

### **I.6. Hipotesis**

Dari data pondasi senjata, dapat diasumsikan bahwa untuk ketebalan 7 mm pada pondasi sudah kuat untuk sebuah struktur pondasi senjata.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB II

### STUDI LITERATUR

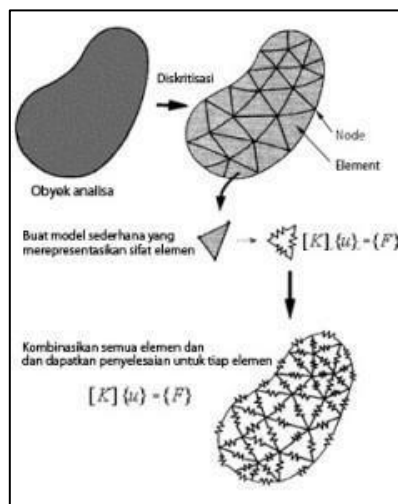
#### II.1. Dasar Teori

Dasar teori pada penelitian ini adalah berupa serangkaian penjelasan seputar kapal perang yang dilengkapi dengan senjata meriam atau *naval gun* dan metode elemen hingga.

##### II.1.1. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah sebuah metode numerik untuk menyelesaikan atau memecahkan masalah teknik dan fisika matematis dengan cara membagi objek yang akan di analisis menjadi bagian-bagian kecil atau. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisis satu persatu besarnya masalah yang terjadi dan kemudian digabungkan kembali hasil dari analisis tersebut untuk mendapatkan penyelesaian dari keseluruhan daerah analisis.

Proses membagi bagian-bagian kecil dapat disebut sebagai diskritisasi (*discretizing*). Bagian-bagian kecil tersebut disebut sebagai elemen (*element*), yang terdiri dari titik-titik sudut yang disebut sebagai node (*nodal*). Membagi sebuah objek menjadi elemen-elemen kecil secara fisika menuntut untuk melakukan persamaan diferensial, namun metode elemen hingga ini secara matematis memberikan kesan rumit, untuk itu dalam pembelajaran umum teori metode elemen hingga secara matematis tidak terlalu dipelajari lebih jauh.



Gambar II.1 Garis besar konsep metode elemen hingga  
(Infometrik, 2009)

Langkah-langkah penggunaan metode elemen hingga yang secara ringkas yaitu dengan membagi objek analisis ke dalam elemen-elemen kecil, dilanjutkan dengan melakukan pemodelan sederhana yang berlaku untuk setiap elemen misalnya dengan memodelkan pegas, lalu membuat formula sederhana untuk setiap elemen tersebut misalnya untuk pegas berlaku hukum  $f = k \cdot x$  yang dimana  $k$  adalah konstanta pegas dan  $x$  adalah pertambahan panjang pegas lalu memperoleh sebuah persamaan yang dapat disebut matriks kekakuan elemen (*element stiffness matrix*) (1), dan yang terakhir adalah mengkombinasikan seluruh elemen dan membuat persamaan yang mencakup seluruh variable elemen misalnya dari pegas sebelumnya mencakup variable  $f$ ,  $k$ , dan  $x$  dan menghasilkan persamaan yang dapat disebut sebagai matriks kekakuan global (*global stiffness matrix*) (2). (Infometrik, 2009)

### II.1.2. Kapal BRP *Tarlac* (LD-601)

Kapal BRP *Tarlac* yang dapat dilihat pada Gambar II.2, termasuk dalam kategori *amphibious assault ship* atau *landing platform dock* (*amphibious transport dock*) yang dimana kapal ini bertugas untuk menaikkan, mengangkut, dan mendaratkan elemen dari pasukan atau angkatan darat untuk melakukan perang pada ekspedisi suatu wilayah. Kapal ini di desain oleh Angkatan Laut Makassar Indonesia yang ditugaskan oleh Angkatan Laut Filipina. Kapal ini dibangun pada bulan Januari 2015 dan diluncurkan pada tanggal 17 Januari 2016. Kapal ini diberi nama "*Strategic Sealift Vessel*" pada saat sebelum kelas memberi nama secara formal. Kapal ini menjadi kapal pertama dari jenisnya yang akan dioperasikan Angkatan Laut Filipina dan dimaksudkan untuk operasi amfibi dan bertugas sebagai kapal transportasi untuk mendukung Angkatan Bersenjata Filipina, namun kegunaannya digandakan sebagai platform pendukung dari *Humanitarian and Disaster Relief* (HADR) dan operasi *Search & Rescue* (Rahmat, 2015) .



**Gambar II.2 BRP *Tarlac*.**  
(Navy, 2016)

Kapal ini memiliki *displacement standard loads* sebesar 7400 tons dan *displacement full load* sebesar 11583 tons, dengan panjang 123 m, lebar 21.8 m, tinggi 11.3 m, dan sarat 5 m. Memiliki satu mesin utama (*main engine*) yaitu menggunakan MAN D 2842 LE301 *diesel generator* dan dua buah genset (*auxiliary engine*) MAN-STX 8L27/38 *diesel engine*, yang setiap gensetnya memproduksi 3915 BHP (2920 kW) dengan total *diesel engine output* 7830 BHP (5840 kW). Kapal ini memiliki kecepatan dinas maksimum sebesar 16 knots (30 km/jam) dengan maksimum jarak tempuh 17300 km pada 30 hari perjalanan.

BRP Tarlac mampu mengangkut hingga dua buah LCU (*Landing Craft Utility*) dan dua buah RHIB (*Rigid Hulled Inflatable Boat*) atau LCVP (*Landing Craft Vehicle Personnel*) pada *davit boats*. Kapal ini memiliki kapasitas untuk mengangkut pasukan atau prajurit sebesar 500 beserta dengan kendaraan dan perlengkapannya. Kapal ini juga telah menyediakan dua buah *aircraft* (helikopter) dengan tipe AW109 Power (*AugustaWestland 109*) pada Gambar II.3 dan terdapat *hangar* atau *flight deck* untuk dua buah helikopter berukuran *medium*.



**Gambar II.3 AugustaWestland 109**  
(Wikipedia, 2012)

Kapal ini dilengkapi dengan sensor Furuno X & S-band seperti pada Gambar II.4 untuk sistem navigasi pelayarannya. Persenjataan kapal ini dilengkapi dengan senjata meriam dengan laras 76 mm pada bagian *foredeck* dan satu buah senjata meriam laras 25 mm pada setiap bagian sisi *port* dan *starboard* (Laude, 2012).



**Gambar II.4 Furuno X-band dan S-band.**  
(Furuno, 2010)

### **Awal mula BRP Tarlac**

Kapal BRP Tarlac ini dibangun berdasarkan pengajuan dari pihak Angkatan Laut Filipina untuk mengkonversi kapal Ro-Ro (*Roll on – Roll off*) buatan Jepang yang sebelumnya direkomendasikan oleh *Centre of Naval Leadership & Excellence* pada tahun 2009. Untuk pembelian dan bantuan secara teknis pada kapal Ro-Ro diberikan oleh DBP *Maritime Leasing Corporation Inc.* (DMLC). Proyek ini adalah salah satu proyek utama dalam daftar belanja pada pembelian antara tahun 2012 dan 2016 yang disampaikan oleh Angkatan Bersenjata kepada Komite Dewan Perwakilan Rakyat pada tanggal 26 Januari 2011. Namun proyek ini tidak berjalan dikarenakan keterlambatan dalam alokasi anggaran dan kapal Ro-Ro tersebut ditawarkan dan dijual pada pihak lain.

Awalnya sebuah proyek yang terpisah dari proyek kapal SSV, Departement of National Defense (DND) Filipina memiliki gagasan untuk mengakuisisi satu atau dua kapal *multi-role vessels* (MRV) untuk Angkatan Laut Filipina melalui kontrak dengan sistem *government-to-government* dengan biaya 5 – 10 juta Peso. Narasumber mengatakan bahwa kapal yang akan dibeli adalah kapal dari Singapura atau Korea Selatan. Laporan sebelumnya dan laporan dari berita menunjukkan bahwa *multi-role vessels* ini sebanding dengan kapal *landing platform dock* yang dioperasikan oleh Angkatan Laut Negara Asing seperti Singapura yang memiliki *Endurance-class* atau milik Spanyol *Galicja-class*. Hal ini kemudian dikonfirmasi bahwa kapal tersebut adalah kapal dari Korea Selatan dan merupakan varian dari *Makassar-class Landing Platform Dock* milik Angkatan Laut Indonesia (TNI-AL), yang dikemas dengan empat buah unit kendaraan amfibi tahap uji yaitu KAAV-7 *Amphibious Assault Vehicle* buatan *Samsung Techwin* (Gambar II.5 Kiri), dua buah unit *Landing Craft Utility-23* (LCU-23) Daesun dengan panjang 23 meter (Gambar II.5 Kanan), empat buah unit *Rigid-hulled Inflatable Boats* dengan panjang 9.8 meter (Gambar II.6 Kiri), satu buah unit *Truck-based Mobile Hospital* (Gambar II.6 Kanan), dua buah unit *Troop Truck* Kia KM-250 dengan daya angkut 2-½ ton (Gambar II.7), dua buah unit *Troop Truck* Kia KM-450 daya angkut 1-¼ ton, dua buah unit *Ambulances* Kia KM-450, dua buah unit kendaraan mobil Kia Retona daya angkut ¼ ton, dan satu buah unit *forklift* (Office, 2009)





**Gambar II.5 (Kiri) *Samsung Techwin KAAV-7* dan (Kanan) *Daesun LCU-23*.  
(Defence-blog, 2014)**



**Gambar II.6 (Kiri) *Rigid-hulled Inflatable Boat* dan (Kanan) *Truck-based Mobile Hospital*.  
(Wikipedia.org, 2012)**



**Gambar II.7 *Truk Kia KM-250*.  
(Kia, 2014)**

Bulan Mei 2011, muncul laporan adanya kemungkinan untuk mengakuisisi tiga buah *Landing Platform Dock* dari Indonesia oleh galangan PT. PAL. Desain ini akan menjadi desain asli dan tidak memiliki kemiripan dengan model sebelumnya yang dibangun untuk Angkatan Laut Indonesia yaitu *Makassar-class* yang berasal dari Korea Selatan. Hal ini juga mewakili pilihan yang lain karena Korea Selatan dilaporkan telah mendorong penjualan setidaknya satu unit *platform* berdasarkan *Makassar-class* milik Angkatan Laut Indonesia. Pada bulan Desember 2011, Angkatan Laut Filipina mulai melakukan negosiasi untuk *platform* tersebut dari negara yang bersangkutan dengan anggaran 5 juta Peso.

Dengan pembatalan proyek SSV pertama, tersisa dua proyek yang digabungkan menjadi proyek Kapal *Strategic Sealift Vessels*, yang diambil berdasarkan parameter dan kebutuhan dari *multi-role vessels*. Berdasarkan konsep strategi “*Phillipine Fleet Desired Force Mix*” yang diumumkan pada bulan Mei 2012, Angkatan Laut Filipina memerlukan setidaknya empat unit kapal *strategic sealift vessels* yang tersedia pada tahun 2020 mendatang.

Tanggal 24 Mei 2013, *Departement of National Defense* Filipina mengumumkan rencana akuisisi dua unit kapal *Strategic Sealift Vessels* seharga 2 miliar Peso untuk masing-masing kapal. Kapal tersebut dijelaskan berukuran lebih kecil dari kapal *multi-role vessel* yang telah direncanakan, meski persyaratannya untuk kapal MRV masih kurang memenuhi kapal tersebut masih mampu memindahkan batallion pasukan beserta dengan kendaraan pelengkap yang berlapis baja dan juga dilengkapi dengan *helipad* dan *platform* untuk operasi *search & rescue* yang juga bisa dilengkapi dengan fasilitas rumah sakit. Pada tanggal 29 Agustus 2013, *Departement of National Defense* Filipina menyatakan bahwa PT. PAL sebagai pemenang untuk melakukan pembangunan dua unit kapal *Strategic Sealift Vessels* dan dianggap sebagai satu-satunya penawar yang paling memenuhi syarat dengan harga penawaran 3,963,999,520 Peso. Perusahaan lain membeli dokumen penawaran, namun tidak pernah menunjukkan ketertarikannya terhadap prosedur penawaran.

SSV-1 secara resmi mulai dibangun pada tanggal 22 Januari 2015, dimana sebuah acara pemotongan baja pertama yang diadakan di galangan kapal milik PT PAL di Surabaya, Indonesia. Pengerjaannya telah mulai memasuki pengerjaan *Keel Laying* pada tanggal 5 Juni 2015 dan telah diluncurkan dengan nama BRP Tarlac (LD-601) pada 18 Januari 2016 (Gambar II.8). Pengerjaan lanjutan dan pengetesan dilakukan hingga kapal dikirim ke Angkatan Laut Filipina pada bulan Mei 2016. Untuk kapal kedua yaitu SSV-2, telah melakukan proses pemotongan baja pertama pada tanggal 5 Juni 2015 di galangan kapal PT PAL Surabaya.



Upacara *keel laying* dilakukan bersamaan dengan peluncuran dari kapal sebelumnya pada tanggal 18 Januari 2016 dan diberi nama LD-602 pada lambung kapal SSV-2 seperti pada Gambar II.9. Kapal sampai di Manila pada tanggal 8 Mei 2017 dan mendapat sambutan formal pada tanggal 10 Mei 2017. (Laude, 2010)



**Gambar II.8 BRP Tarlac sedang menuju Manila.**  
(Wikipedia.org, 2016)



**Gambar II.9 SSV-2 atau BRP Davao del Sur (LD-602).**  
(Navy, 2016)

### II.1.3. Peran *Naval Gun* pada Kapal Perang Modern

Sudah berabad-abad, kapal perang dipasangkan meriam atau senjata untuk melawan kapal lain milik musuh seperti pada Gambar II.10. Hingga pada tahun 1950, ketika *anti-ship cruise missile* digunakan oleh kapal perang Uni Soviet. *Anti-ship Missile* (AShM) sangatlah cepat, akurat, dan senjata yang sangat mematikan yang memiliki sejumlah keuntungan dibandingkan dengan *naval guns* pada saat itu. Sejumlah angkatan laut negara lain pun kerap mengadopsi teknologi tersebut dan membuat rudal versi mereka atau mengimport rudal tersebut. *Heavy-caliber guns* mulai menghilang dan digantikan oleh rudal tersebut.



Gambar II.10 Senjata Meriam Modern pada Kapal Perang  
(N.R.P, 2016)

Hal ini menyebabkan banyak analis, ahli strategi, angkatan laut, dan desainer untuk mempertimbangkan *naval gun* sebagai persenjataan yang sudah usang dan tidak diperlukan pada kapal perang modern. Pada tahun 1970 banyak sekali kapal yang dibangun hanya menggunakan persenjataan rudal pada saat itu. Namun para ahli tersebut harus menemukan cara agar *naval guns* tidak sepenuhnya digantikan oleh rudal dan kedua sistem persenjataan tersebut harus bisa saling melengkapi jika digunakan dengan cara yang benar. Dengan mengamati dan menganalisis perkembangan teknologi pada persenjataan kapal perang modern, kita dapat mendesain persenjataan tersebut dan membuat desain pondasi yang paling efektif untuk kemajuan dan inovasi dari persenjataan kapal perang modern.

#### Desain Gun Cupola

*Stealthy Cupola* telah mendefinisikan seberapa modern *naval gun* itu dilihat. *Cupola* adalah sebuah penutup yang ada diatas meriam atau *gun* yang bertujuan untuk melindungi pekerja yang menggunakan meriam tersebut dari kondisi cuaca dan air. Hal ini sudah menjadi sebuah ketetapan bahwa penggunaan meriam tradisional atau *gun* menggunakan *cupola* dengan

bentuk yang pejal, menggunakan tangga, dan alat-alat lainnya seperti alat penangkal sinyal radar kapal lain dan penambah jarak sinyal radar (*Radar-cross Section/RCS*) dari kapal tersebut seperti pada Gambar II.11. Untuk menangkal sinyal radar dari kapal lain, *cupola* sendiri di desain dengan menggunakan beraneka ragam bentuk penutup. Selain itu keuntungan penggunaan bentuk penutup atau *cupola* ini adalah agar meriam atau *gun* pada kapal tersebut terlihat lebih indah.



**Gambar II.11 Non-Stealthy Gun Cupola (AK-176) dan Stealthy Gun Cupola (OTO Melara 76 mm)**  
(N.R.P, 2016)



**Gambar II.12 OTO Melara 76 mm tanpa cupola.**  
(N.R.P, 2016)

Terlihat pada Gambar II.12, bahwa laras pada meriam *stealthy cupola* dibiarkan terekspos atau terbuka tanpa ada penutup apapun. Ini berfungsi untuk menangkal sinyal radar dari kapal lain dan dapat berfungsi sebagai antenna untuk memperbesar jarak sinyal radar atau RCS. Selain itu dari segi ekonomi, tanpa menggunakan pelindung pada laras dapat mengurangi *costs* yang dikeluarkan untuk membeli pelindung laras.

Namun meriam tersebut rentan dan bisa patah bila jeda waktu penembakan sangat sedikit dan terkena gaya yang melebihi kapasitas laras. Dilihat dari kapal Swedia, UAE dan US Navy, cara mengamankan laras pada meriam tersebut adalah dengan memasukkan laras tersebut kedalam *casing* dari meriam tersebut seperti pada Gambar II.13 dan Gambar II.14. Dengan desain sedemikian rupa, laras tersebut dapat diatur agar dapat masuk kedalam casing meriam untuk mengamankannya.



**Gambar II.13 Gun 155 mm dan 76 mm pada saat laras dikeluarkan.**  
(N.R.P, 2016)



**Gambar II.14 Gun Bofor 57 mm pada saat laras didalam casing.**  
(N.R.P, 2016)

#### **II.1.4. Peran Modern Naval Gun**

Sebagaimana yang telah dinyatakan, Meriam atau *Gun* menyempurnakan persenjataan pada kapal perang dan menawarkan sejumlah kemampuan yang unik dalam pengoperasiannya. Hal ini telah menjadi standar dalam penggunaannya pada kapal perang pada beberapa peran:

- **Anti-piracy:** Pada umumnya, Meriam yang digunakan pada kapal perang bentuknya bermacam-macam untuk mengantisipasi atau melawan kapal pembajak. Apabila menggunakan rudal dengan harga yang mahal untuk meledakan kapal, penggunaannya akan kurang efektif. Pada kenyataannya, untuk meledakan kapal tersebut biasanya kapal perang menggunakan meriam dengan kaliber 30 mm dan 127 mm.
- **Warning Shot:** Pada situasi tertentu, *warning shot* atau tembakan peringatan ditembakkan oleh kapal perang untuk menyampaikan pesan dan hal ini sangat tidak wajar apabila menggunakan rudal.

- ***Shore Bombardment***: Dalam pendaratan pasukan amfibi harus dilakukan penembakan oleh kapal perang dan hal ini melibatkan ribuan tembakan pada pelindung pertahanan musuh untuk melindungi pasukan-pasukan yang akan didaratkan. Pada dasarnya hal ini adalah aksi *naval howitzer*, yaitu penembakan meriam laras pendek dengan kecepatan rendah dan suaranya keras pada pertahanan musuh.
- ***Surface Warfare***: Hal ini melibatkan penggunaan meriam untuk menghancurkan kapal lain pada saat perang berlangsung. Karena pada umumnya kapal perang ini bertugas melindungi kapal *merchant* atau *oil tanker* yang tidak bersenjata. Serangan langsung antar kapal perang dengan menggunakan meriam meriam akan digunakan jika tidak ada rudal yang tersedia pada kapal perang tersebut.
- ***Anti-air Warfare***: Meriam meriam adalah senjata paling efektif untuk menghadapi *aircraft* dan rudal. Pada meriam tipe khusus yang menggunakan amunisi dengan *proximity fuzes* dan *fragmentation shell* digunakan untuk mengantisipasi benda-benda yang terbang. Meriam dengan kaliber yang kecil dan penembakan yang cepat juga biasanya digunakan untuk mengantisipasi hal ini.
- ***Littoral Warfare***: Meriam kaliber kecil dan sedang dengan penembakan yang cepat biasanya digunakan pada daerah lingkungan pesisir untuk mengantisipasi *fast-moving small-craft*. Meriam yang dapat dikendalikan akan lebih efektif pada penggunaannya pada daerah ini.

#### II.1.5. Keuntungan Penggunaan Meriam dibandingkan dengan Rudal

Sepanjang teknologi rudal yang masih dalam progress dan AShMs (*Anti-Ship Missiles*) telah membuat rudal yang sangat cepat dan lebih mematikan, namun rudal tersebut menjadi sangat-sangat mahal. Hal ini disebut juga sebagai *low-high end weapons* yaitu kombinasi antara meriam dan rudal untuk mencegah berbagai macam ancaman. Meriam modern memiliki *high rate of firing* jauh melebihi meriam terdahulu yang digunakan pada saat Perang Dunia ke-2. Pengembangan terhadap berbagai jenis radar yaitu *Optronic* dan *IR Sensors* digunakan untuk mengendalikan tembakan yang membuat tembakan tersebut menjadi lebih efektif dan lebih akurat. Kemajuan terbaru pada senjata meriam dengan kaliber terkecil atau *turret* adalah penggabungan senjata *turret* tersebut dengan *remote control* yang memungkinkan operator untuk menembakan senjata tersebut dari tempat yang aman pada kapal. Sebagian besar menggunakan RWS (*Remote Weapon Station*) yang memiliki *Gyro-stabilized turret* dimana



operator tetap dapat menembakan senjata tersebut dan mengarahkannya dengan baik meskipun kondisi cuaca dilaut sedang badai. Dan juga RWS ini dilengkapi dengan berbagai macam sensor untuk menambahkan akurasi tembakan. Meriam yang memiliki kaliber lebih besar dapat melihat kemunculan dari *long-range guided shell* yang memungkinkan bagi meriam untuk menembakan peluru dengan presisi pada kisaran jarak 50 – 100 km. Hal tersebut tak dapat dibayangkan sebelumnya, karena meriam terbesar yang ada sekarang ini hanya memiliki jangkauan maksimal sekitar 40 km dengan akurasi yang dapat dikatang sedang. Fitur dan kemajuan ini telah membuat meriam menjadi sangat relevan untuk saat ini. Keunggulan yang ditawarkan oleh meriam jika dibandingkan dengan rudal adalah: (N.R.P, 2016)



**Gambar II.15 Perahu Perompak**  
(N.R.P, 2016)

- **Cost Effectiveness:** Satu buah *anti-ship missile* (AShMs) memiliki harga sekitar 2000 kali lebih mahal bila dibandingkan dengan meriam kaliber yang sangat besar. Hal ini sangat penting karena sebagian besar target tidak memerlukan penggunaan rudal, kecuali jika kapal tersebut sedang melakukan perang besar. Terlebih lagi, pada saat melakukan *soft targeting* seperti kapal atau perahu kecil seperti Gambar II.15, meriam sangatlah ekonomis.



- ***Large Number of Rounds Available:*** Kapal Destroyer biasanya membawa amunisi sekitar 300 – 500 peluru seperti pada Gambar II.16, untuk meriam utamanya dan ribuan peluru amunisi untuk persenjataan tambahannya. Namun hanya 8 – 16 rudal jelajah (cruise missile) yang biasanya dibawa. Rudal ini sangatlah berguna terhadap target *high-value* walaupun jaraknya sangat jauh. Tetapi target *low-value* yang jaraknya dekat dapat dihadapi dengan meriam laras *medium/large*.



Gambar II.16 Amunisi dari Senjata Meriam Rusia AK-130 kaliber 130 mm.  
(N.R.P, 2016)

- ***Shells cannot be shot down by missiles:*** Keuntungan terbesar yang dimiliki meriam laras besar (76 mm, 100 mm, 127 mm) adalah peluru yang ditembakkan oleh meriam ini tidak dapat dihentikan oleh system pertahanan kapal musuh. Tembakan beruntun peluru kaliber 127 mm dapat melumpuhkan kapal *Destroyer* canggih yang dilengkapi dengan radar tercanggih dan rudal. Sebuah CIWS (*Close-in Weapon System*) seperti Phalanx berkaliber 20mm sebenarnya dapat menghentikan peluru kaliber 127mm tersebut dengan tembakan beruntun, namun akan kehabisan amunisi setelah menghentikan beberapa tembakan. Pada intinya, tidak ada jaminan pertahanan yang dapat menghentikan meriam 127 mm tersebut. Di masa yang akan datang, peluru meriam *Railgun* 155 mm yang digunakan oleh kapal *Destroyer* (*Zumwalt-class*) Angkatan Laut Amerika Serikat akan sepenuhnya kebal terhadap sistem pertahanan apapun karena kecepatan peluru tembakkannya yaitu *Mach* 5 – 6.

- ***Electronic Jamming and Decoy are useless:*** Bahkan rudal modern dan canggih sekalipun bisa disesatkan oleh *electronic jamming*, *flares*, *chaff*, dan umpan lainnya seperti pada Gambar II.17 yang diluncurkan oleh target. Peluru *unguided* dapat menghantam target bahkan dalam *electronic warfare environment* yang terpadat.



Gambar II.17 Kapal Patrol *Hayabusa-class* milik jepang menembakan *flares*.  
(N.R.P, 2016)

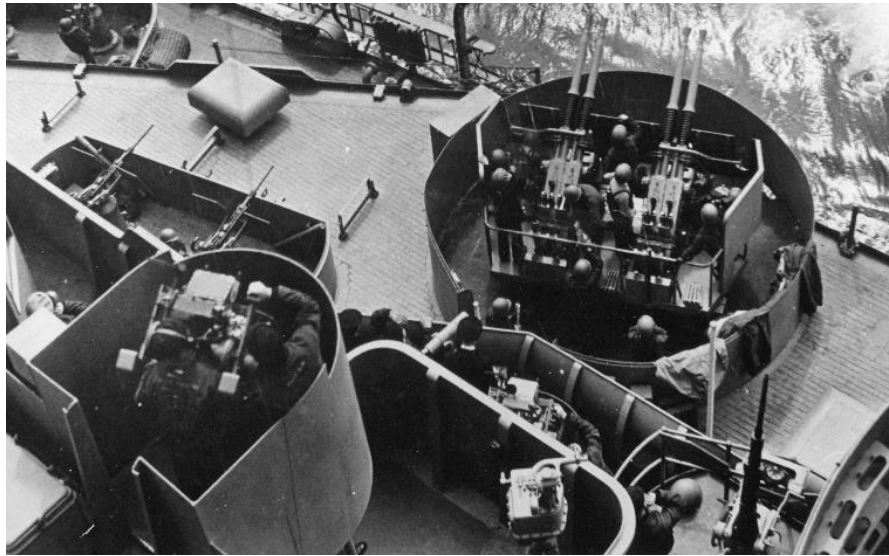
- ***Ability to engage targets in extremely close to the ship:*** Rudal Jelajah (*Cruise Missiles*) memiliki jarak tempuh minimal 5 – 10 km dari *platform* peluncuran. Hal ini disebabkan karena rudal tersebut perlu: distabilkan pada saat setelah melakukan peluncuran, mencapai jarak aman minimum dari *platform* peluncuran, penguncian target sasaran dan kemudian menghantam target. Untuk senjata meriam dapat ditembakkan dengan aman pada jarak 10m seperti pada Gambar II.18.



Gambar II.18 Kapal Angkatan Laut Itali OTO Melara 127 mm, menembak pada jarak terdekat.  
(N.R.P, 2016)

### II.1.6. *Naval Gun*

*GUN* adalah sebuah alat mekanis yang terdiri dari tabung yang pada salah satu ujung sisinya tertutup yang pada saat pemebakan terdapat peluru dan *propellant charge*, dan dapat mengontrol ledakan yang dihasilkan oleh *propellant charge* untuk meluncurkan peluru dengan kecepatan yang sangat tinggi yang dapat dilihat pada Gambar II.19.



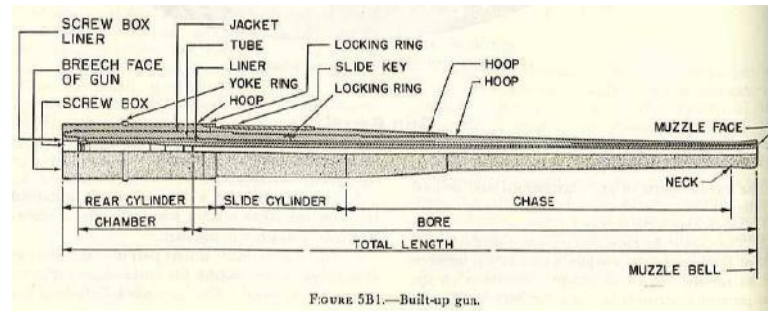
Gambar II.19 Senjata meriam pada kapal perang Amerika Serikat.  
(navsource, 2013)

#### *Exterior Parts:*

- **BREECH** adalah bagian ujung belakang dari *gun*, sedangkan *muzzle* adalah bagian ujung depan dari *gun*. Ujung silinder belakang pada *gun* diatas *chamber* adalah bagian silinder tertebal. *Slide cylinder* adalah bagian *gun* pada silinder bagian belakang agak maju yang dimana bisa melakukan *slide* dan menggerakan silinder pada saat *recoil*.
- **CHASE** adalah bagian miring pada silinder agak depan.
- **NECK** adalah bagian ujung depan pada silinder yang terpadat dibelakan persis *muzzle*, dimana bagian *chase* yang memiliki diameter terkecil.

#### *Interior Parts:*

- **BORE** dari tabung adalah bagian interior dari tabung yang memiliki berbagai macam ukuran diameter dari *powder chamber* hingga ke *muzzle*.
- **CHAMBER** *gun* adalah sebuah tempat pada *breech* dan digunakan untuk memasukan *powder charge*.



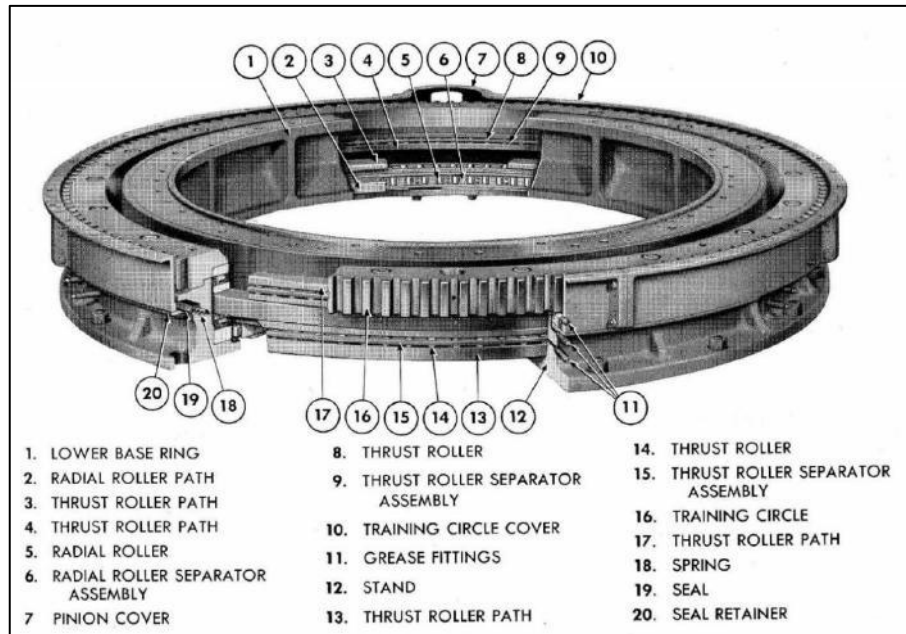
**Gambar II.20 Bagian Gun.**  
(navweaps, 2016)

### **Mount pada Gun**

- **MOUNT** adalah keseluruhan sistem yang disisipkan antara struktur kapal dan struktur senjata. Fungsi utama dari *mount* adalah harus dapat; (1) mendukung *gun* sedemikian rupa agar memudahkan penggunaan *gun*, (2) dapat mengangkat dan mendorong *gun* dan (3) dapat membantu *gun* pada saat *recoil* dan *counter-recoil*.
- **SLIDE** adalah *casting* berbentuk silinder yang berada pada *gun* dan bergerak secara aksial pada saat *recoil* dan *counter-recoil*. Pada saat mengangkat *gun* dengan *slide* yang sudah terpasang dengan *gun* akan beroperasi secara independen tergantung sistem *mount*.
- **CARRIAGE** adalah bagian yang dapat berputar pada sistem, yang memangkut *slide* dan *gun*. *Carriage* bertumpu dan berputar pada *roller* dari anggota stasioner yang disebut:
- **STAND** yang dikunci (las, baut, dll) pada struktur kapal.

Bagian utama pada *mounting*:

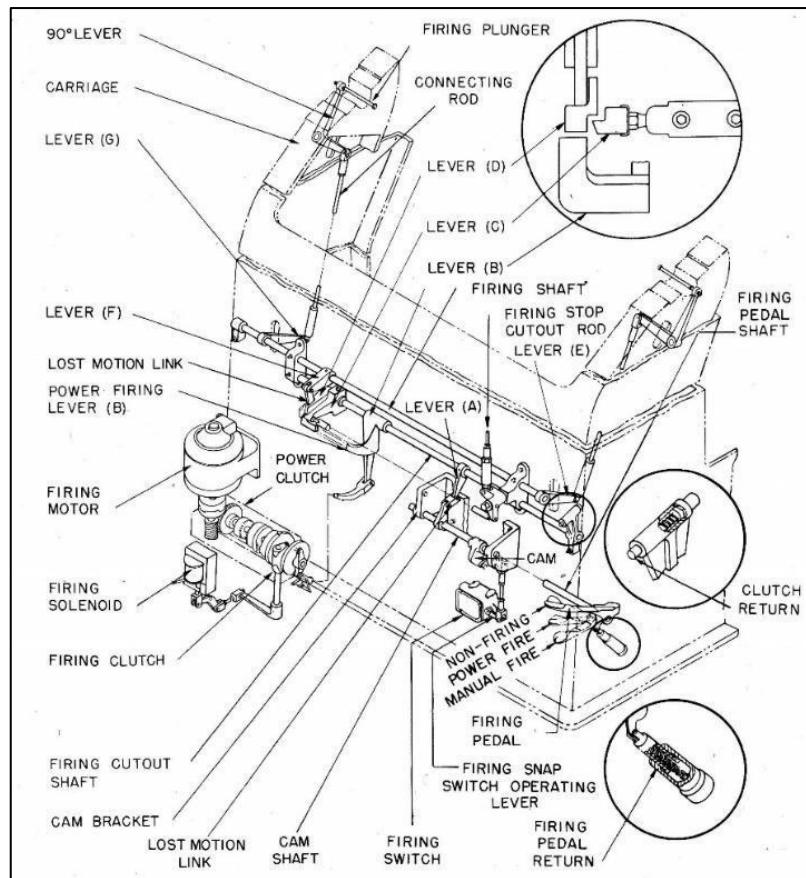
1. *Stand* dan lingkaran *train* atau mesin penggerak (Gambar II.20)
2. *Base ring* dan *carriage*
3. *Training Gear* (*Handwheel*, *gear-drives* dan *seat*)
4. *Elevating Gear* (*Handwheen*, *gear-drives* dan *seat*)
5. *Electric Hydraulic Power Drives* (*receiver-regulator*, *clutches*, dan *levers control*)
6. *Firing Mechanism* (*power clutch* dan *cutout mechanism*)
7. *Loader Platform* (*cartridge clutch* dan *tool holders*)
8. *Cooling System* (*pump*, *tank*, dan *piping*).



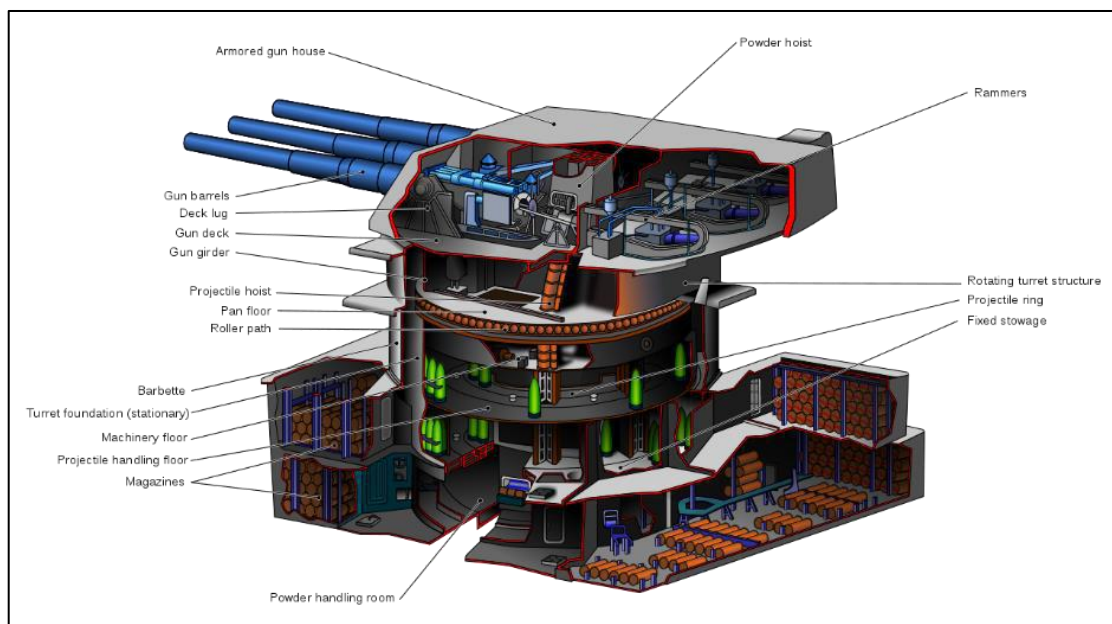
**Gambar II.21 Naval Gun Stand**  
(navsource, 2013)

*Stand* dan *training circle* dibaut bersamaan, yang dimana *stand* dibaut pada *deck* kapal. Dua hal ini merupakan dua stasioner utama dari *mount*. *Training stop block* juga dibaut pada *deck* kapal namun secara terpisah dari *stand*. Tetapi masih memiliki pergerakan yang sama pada *train*. *Training gear* memiliki gerigi yang dipotong pada bagian terluar, yang dihubungkan dengan *training gear pinion drive* yang memutar keseluruhan *mount*. *Base ring* terbuat dari dua buah bagian, *upper* dan *lower piece*. *Lower piece* merupakan bagian konsentris dan dilengkapi dengan *circular roller paths* dan *hardened steel rollers* yang masih melakukan kontak dengan *rollers* pada stasioner. Berat keseluruhan *mount* ditransmisikan melalui *roller* tersebut menuju *stand*. *Lower* dan *upper pieces* dipertimbangkan sebagai satu unit. *Upper piece* dilengkapi dengan dua buah *flanges* berbentuk persegi panjang untuk menopang bagian kiri dan kanan dari *carriages*. *Training stop buffer* dan *training stop shaft* terpasang diatas *upper* dan *lower piece*. *Training bracket* dan *training pinion bracket* terpasang diatas *upper piece*. *Carriage* membantu mekanisme *gun* melalui *roller bearing trunnions*. Permukaan dari kedua sisi kanan dan kiri dari *carriage* telah terpasang *firing control* dan *stop firing mechanism* (Gambar II.22). Sisi kanan dari bagian kanan *carriage* menopang *training handwheel bracket* dari *power driver* dan *training seat*. Sisi kiri dari bagian kiri *carriage* menopang *elevation handwheel bracket* dari *elevating power drive* dan *pointer's seat*. (navsource, 2014)





**Gambar II.22 Firing Mechanism**  
(navsource, 2014)



**Gambar II.23 Perpotongan keseluruhan gun.**  
(navsource.org, 2014)

### II.1.7. *Naval Gun 76 mm*

*Naval Gun 76 mm* adalah senjata meriam dengan kaliber *medium* paling populer di dunia karena keseimbangan yang sangat baik dari jarak tembak, daya tembak, dan *rate of fire* yang ditawarkan oleh sebagian besar senjata meriam 76 mm. Oto Melara buatan Italia yang terlihat pada Gambar II.24, menguasai kategori senjata meriam kategori ini dan hampir tidak memiliki pesaing. Ada pilihan senjata lain seperti AK-176 buatan Rusia, AK-176 buatan China (*Reversed Engineered*).



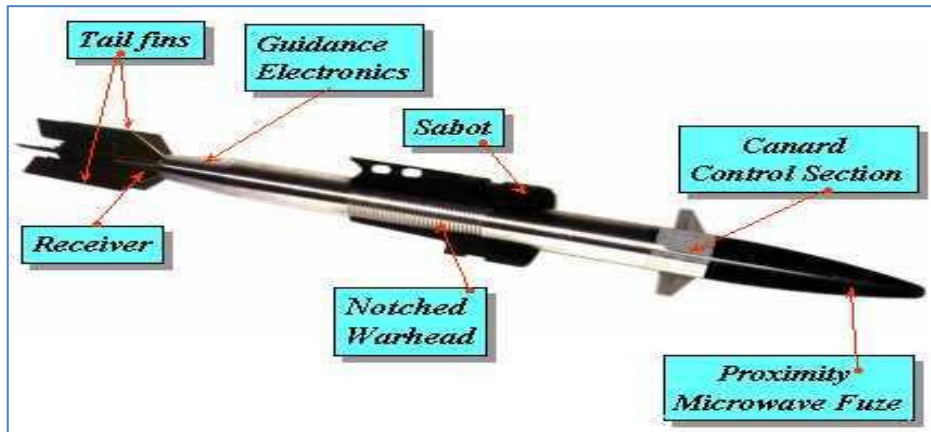
**Gambar II.24 Senjata Meriam terpopuler didunia, OTO Melara 76 mm.**  
(N.R.P, 2016)

Hal terbaik dari Oto Melara 76 mm ini adalah dapat dipasang pada kapal *Corvettes* berukuran kecil dengan mudah, yang memberikan kapal tersebut sejumlah *firepower* yang cukup signifikan. Daya tembak tertingginya adalah 120 rds/min (*rounds/peluru*) dan jarak tembaknya adalah 15 km, hal ini lah yang membuat OTO Melara SRGM (*Super Rapid Gun Machine*) menjadi senjata sempurna sebagai senjata *dual-role* dimana senjata ini dapat menghadapi targetnya yang berada di permukaan darat dan air serta udara dengan tingkat keefektifan penggunaanya yang sama.



**Gambar II.25 Varian STRALES pada senjata Meriam OTO Melara 76 mm.**  
(N.R.P, 2016)

Varian yang lebih modern dari OTO Melara 76 mm adalah versi STRALES (*Radio Frequency Guidance System*) seperti pada Gambar II.25 yang dilengkapi dengan sistem radar yang memperjelas kontrol serta arah penembakan yang terintegrasi dan slot untuk amunisi DART (*Driven Ammunition Reduced Time of flight*) seperti pada Gambar II.26 yang telah diperbarui dimana pada saat ditembakkan peluru tersebut dapat diarahkan dengan *radar beam* (frekuensi radio). Hal ini memungkinkan senjata tersebut dapat menghadapi target yang bergerak dengan cepat hanya dengan sedikit peluru karena presisi tembakannya yang baik. Sebagai contoh, amunisi biasa tanpa *guidance system* membutuhkan sekitar 15 – 20 peluru untuk dapat menghancurkan rudal yang terbang pada ketinggian yang cukup rendah, sementara amunisi dengan *guidance system* hanya membutuhkan 4 – 5 peluru untuk melakukan hal yang sama. Kerugian utama dari amunisi dengan *guidance system* adalah amunisi tersebut memiliki harga yang sangat mahal jika dibandingkan dengan amunisi biasa. Karena hal tersebut, persediaan amunisi yang dicampur antara amunisi dengan *guidance system* dan yang biasa lebih dipilih, dimana amunisi dengan *guidance system* digunakan untuk target yang berbahaya (*high-threat*) dan amunisi biasa digunakan untuk target yang cukup berbahaya (*low-threat*) (Navweaps, 2013).



Gambar II.26 Peluru DART  
(Navweaps, 2013)

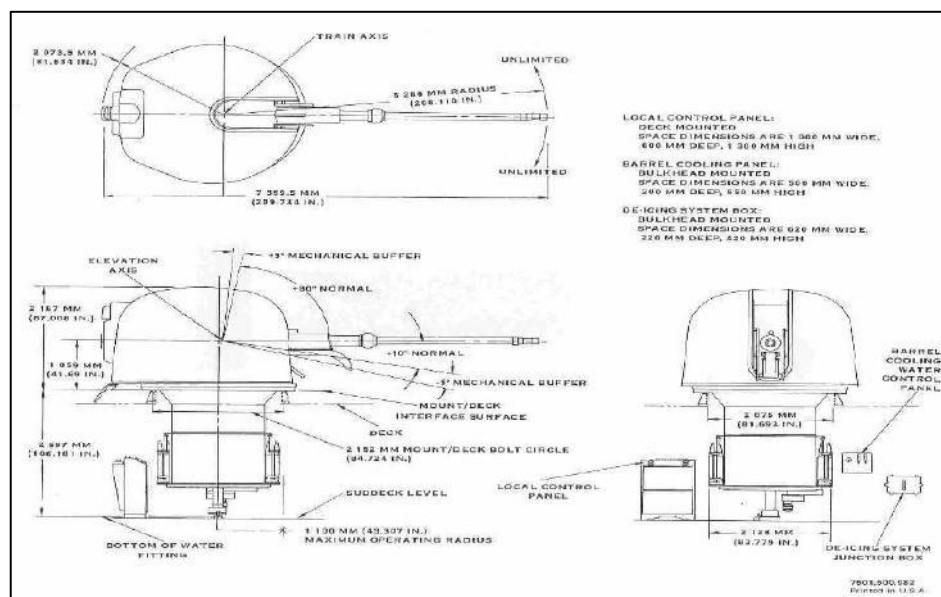
#### II.1.8. OTO Melara 76 mm *Compact* dan SR (*Super Rapid*)

OTO Melara sendiri adalah sebuah industri atau perusahaan yang bergerak di sektor pertahanan, dengan pabrik di Brescia dan La Spezia, Italia. Pada tahun 2015 lalu telah bergabung dengan Finmeccanica menjadi *Leonardo Società per Azioni*. *Leonardo S.p.A* dengan logo baru seperti pada Gambar II.27 berpusat di Roma, Italia adalah perusahaan teknologi Italia yang bergerak pada sektor *aerospace* (dirgantara), *defence* (pertahanan), dan *security* (keamanan). (wikipedia, 2016)



OTO Melara 76 mm adalah senjata yang paling populer didunia, dengan pemberitaan dari OTO-Melara bulan Desember tahun 2002 bahwa sekitar 1000 senjata *compact* dan SR sedang digunakan di 51 angkatan laut seluruh dunia. Senjata ini diproduksi dengan lisensi di Australia, India, Jepang, Spanyol dan Amerika Serikat. Senjata ini dimanufaktur di Amerika Serikat oleh *United Defense* yang sekarang ini bagian dari *BAE Systems (British Aerospace and Marconi Electronic Systems)*, di Jepang oleh *Japan Steelworks* dan di Spanyol oleh *FABA (Fábrica de Artillería Bazán) / Navantia*.

Dengan nomenklatur USN (*United States Navy*), seri *Compact* ditunjuk sebagai *Mark 75* (Gambar II.28). NSD (*Naval Systems Division*) dari *FMC Corporation (Food, Machinery, and Chemical Corporation)* dan *Ordnance Systems Division* dari *General Electric Corporation* mendapat lisensi dari OTO-Melara dan bersaing untuk dapat memanufaktur *Mark 75* di Amerika Serikat. Pada tahun 1975, *FMC Corporation* memenangkan kompetisi tersebut dan senjata meriam pertama dikirim pada Agustus 1978. Dan sejak 1981 semua pesanan senjata *Mark 75* untuk USN ditandingkan oleh *FMC Corporation* dan OTO-Melara.



**Gambar II.27 Sketsa OTO-Melara 76 mm (3'') Mark 75 (Compact)**  
(Navweaps, 2013)

Terdapat sejumlah laporan dari penggunaan senjata *Compact* bahwa senjata ini memiliki masalah dalam keandalan dan akurasi. Pada saat ditembakkan pada tingkat maksimum daya tembaknya (*rate of fire*), terlihat senjata tersebut berkemungkinan untuk “*self-destruct*”, oleh salah satu *Project Engineers* yang bekerja untuk senjata tersebut. Selama pengujian tembakan, senjata tersebut tidak mampu menahan daya tembaknya sendiri dan kurang presisi penembakannya dengan target berukuran 6m x 6m pada jarak 460m.

“*Super Rapid*” (SR) adalah versi rancangan terbaru dari *Compact*, yaitu versi penembakan yang cepat dari *Compact* yang di desain secara spesifik untuk pertahanan rudal *anti-ship*. Akurasi pun telah diperbaiki jika dibandingkan dengan *Compact*, dengan melakukan pengurangan sebagian beban atau berat dari struktur senjata yang bergerak untuk mengurangi masalah dalam getaran yang dihasilkan senjata tersebut pada saat menembak. OTO-Melara mengklaim bahwa perubahan ini telah mengurangi angka standar deviasi menjadi kurang dari 0.3 milirads (0.017 derajat) pada jarak 1000 meter setiap rentetan 10 peluru ketika ditembakkan pada tingkat maksimum daya tembaknya.



**Gambar II.28 Gun Shield**  
(Sasa Drobac, 2008)

Bagian penutup (*Gun Shield*) seperti pada Gambar II.29 dari senjata SR di desain berbentuk bulat yang mirip dengan *Compact*. Namun, kesamaan ini hanya sebatas pada penutup atau kulitnya saja sementara struktur bagian dalam senjata tersebut telah diperkuat untuk menahan tekanan hingga 14 psi ( $1.0 \text{ kg/cm}^2$ ), sementara untuk senjata *Compact* sendiri hanya 4 psi ( $0.5 \text{ kg/cm}^2$ ). Sebagai tambahan, baik senjata *Compact* atau SR keduanya telah tersedia dalam bentuk *boxier* (*stealthy*) sebagai perisai untuk mengurangi RCS (*Radar Cross Section*) dalam penangkapan sinyal radar dari kapal lain.

Untuk mendapatkan daya tembak (*rate of fire*) yang lebih tinggi pada seri SR, OTO-Melara memodifikasi artileri beserta rumah amunisi (*ammunition feed*) dan bahan bakar amunisi (*ammunition fuzing*). Hasilnya, *mounting* atau mesin utama dari seri *Compact* tidak dapat dikonversi menjadi seri SR karena kurang memenuhi standard seri SR, namun pembaruan sistem kontrol (*retrofit kit*) telah tersedia untuk menambahkan daya tembak dari senjata meriam yang lama. Tempat amunisi dari seri SR dipasang secara terpisah dari *turret* (penembak), yang berarti pada saat *feeding* (masuknya peluru ke mesin utama) dapat di interupsi untuk memasukan jenis peluru yang berbeda yang membuat senjata meriam tersebut lebih fleksibel pada saat berhadapan dengan target yang banyak.

Angkatan Laut Italia mempertimbangkan bahwa senjata SR adalah senjata yang sangat efektif untuk menghadapi rudal (*anti-missiles*). OTO-Melara memprediksi bahwa penggabungan antara Dardo FCS (*tank*) dan senjata SR ini dapat menyerang rudal pada jarak 6000 m dengan tembakan pertama yang mengenai target pada jarak 5500 m. Dengan jarak tersebut, sebuah senjata meriam dapat menghadapi hingga empat rudal *subsonic sea-skimmer* yang datang secara bersamaan dari setiap sudut 90° dan akan habis sebelum rudal tersebut mencapai jarak 1000 m dari kapal.

Untuk saat ini, OTO-Melara menawarkan sistem DAVIDE *anti-missiles* untuk pemasangan yang baru dan pembaruan sistem kontrol pada senjata yang telah ada. Sistem DAVIDE ini di desain untuk dapat melakukan aksi *inner-defense* atau pertahanan untuk menghadapi *sea-skimming* atau *diving supersonic* dan *subsonic missiles*. Sistem tersebut menggunakan sambungan khusus dengan proyektil DART yang dapat dikendalikan dan memberikan *stream data* secara kontinu pada seluruh proyektil yang telah ditembakkan.



**Gambar II.29** OtoBreda 76/62 SR dengan sitem DAVIDE/STRALES  
(seaforces online, 2011)

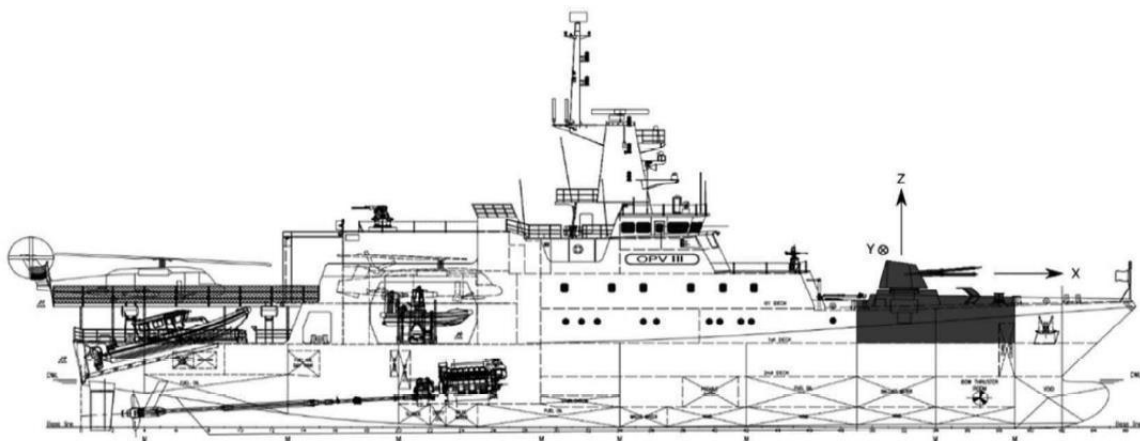
Mount yang lengkap adalah satu kesatuan instalasi dan terdiri dari *shank* yang berada di bawah *weather deck*, *the turret* di *main deck*, dan *servo-systems control and distribution box*. *Mounting* yang lengkap dapat dibagi menjadi dua kelompok komponen: Struktur bawah (yang berada dibawah *deck*) dan Struktur atas (yang berada diatas *deck*). Komponen Struktur Bawah berfungsi membawa aliran amunisi yang tidak terputus untuk masuk ke dalam meriam. Komponen Struktur Atas berfungsi memuat amunisi, mengarahkan meriam, menembakan amunisi dan mengeluarkan amunisi kosong.

*Mounting* ini biasanya dikendalikan dari jarak jauh, namun ada ketentuan untuk *Emergency Local Control* dengan menggunakan sistem *stabilized line-of-sight* untuk operator. *Mounting* membutuhkan pasokan listrik sebesar 440V, 3-Phase, 60Hz untuk menyalakan sirkuit utama, dan *servo and synchro network* membutuhkan 115V, 1-Phase, 400Hz. *Mounting* tidak memiliki awak, namun membutuhkan dua sampai tiga awak kapal dibawah dek untuk memuat peluru ke *revolving magazine*.

*Mounting* tipe SR melakukan beberapa operasi secara parallel sehingga pada seri Compact dilakukan secara berurutan. Panjang dari *recoil* dan *firing cycle* telah diperpendek, dan *ramming* bukanlah bagian dari urutan yang dimana selongsong peluru dikeluarkan. *Retrofit Kits* memungkinkan pemasangan *mounting* seri Compact, Super Rapid, dan STRALES untuk menggunakan peluru baru Volcano yang masih dikembangkan. Pemasangan tergantung pada konfigurasi meriam, *retrofit* bisa dilakukan diatas kapal, jika tidak, pemasangan akan dilakukan pada saat *docking*. Kit dari *retrofit* mencakup pemrograman peluru baru Volcano dan sistem *automatic feeder* memungkinkan untuk mengangkut 80 peluru yang terdiri dari 4 atau lebih jenis amunisi. Sistem *Fire Control* yang berinteraksi pada saat kapal melakukan peperangan juga termasuk dalam *retrofit kit*.

## II.2. Tinjauan Pustaka

Pengoptimalan struktur pondasi senjata pada kapal *patrol vessel* dengan menggunakan algoritma genetika modern. Tujuan utama dari *paper* ini adalah mencari ketebalan pondasi senjata yang paling optimum agar beban yang ada pada geladak kapal (tempat pondasi senjata) berkurang dan juga mengurangi biaya produksi dari pembuatan pondasi senjata tersebut (A. de Vaucorbeil & K. E. Patron, 2017).



**Gambar II.30 OPV80 dengan senjata COTECMAR 76 mm**  
(A. de Vaucorbeil & K. E. Patron, 2017)

### II.2.1. Material

Material yang digunakan oleh pondasi senjata pada kapal *patrol vessel* adalah material ASTM A-131 *Grade AH-32 Mild Steel*. Dan untuk *material properties* dari material tersebut:

Young's Modulus	: E = 2.0 GPa	Yield Stress	: $R_{eH} = 315$ MPa
Poisson's Ratio	: $\nu = 0.3$	Ultimate Stress	: $R_m = 470$ MPa

### II.2.2. Pembebanan

Pembebanan yang terjadi pada pondasi senjata ketika melakukan tembakan dengan senjata

- *Gun Blast Pressure* - Gaya dinamis akibat gerak kapal oleh ombak
- *Gun Recoil Force* - Gaya akibat *Hogging and Sagging*

*Gun Recoil Force* didapat dari katalog senjata yang telah menyediakan besarnya *recoil force* yang diakibatkan oleh senjata ketika ditembakkan, yaitu sebesar:  $Recoil Force = 1.28 \times 10^4$  N

Untuk gaya akibat *hogging* dan *sagging* dihitung menggunakan *software* aplikasi NSR dari *Lloyd's Register* dengan nilai sebesar:

*Maximum Tensile Stress Hogging* = +7 MPa      *Maximum Sheer Stress* = 10 MPa.

*Maximum Tensile Stress Sagging* = -32 MPa

Senjata yang digunakan adalah seri COTECMAR 76 mm dengan berat Kosong = 8300kg dan berat Penuh dengan peluru = 9250 kg

### II.2.3. Kendala Desain

Kapal didesain agar aman selama penggunaannya harus memenuhi faktor dari besarnya *Equivalent Stress of Von Mises* pada setiap titik struktur pondasi senjata haruslah dibawah besaran *Maximum Allowable Stress*. Hal ini dilakukan untuk memastikan agar struktur tersebut tidak terjadi deformasi plastis. *Maximum Allowable Stress* didapat dari *Germanischer Lloyd for finite element simulation* (Germanischer, 2012) dengan perhitungan:

$$\sigma_{max} = 0.77 f_{pI} R_{eH} = 242 MPa$$

dimana

$$f_{pI} = \frac{R_m}{1.5 R_{eH}} = 0.995$$

Selain perbandingan antara *von mises stress* dan *maximum allowable stress*, terdapat perbandingan *von mises stress* dan *endurance limit*. Besarnya tegangan maksimum (*von mises stress*) tidak boleh melebihi batas ketahanan material (*Endurance Limit*). Perhitungan ini dilakukan untuk memastikan bahwa struktur pondasi tidak terjadi kegagalan dari titik kelelahan material. Besarnya *Endurance Limit* adalah setengah dari  $R_m$  atau *ultimate strength*: (Budynas, 2008)

$$Endurance\ Limit = \frac{1}{2} \times R_m$$

Faktor paling penting dari kendala desain adalah faktor keamanan. Faktor Keamanan adalah rasio perbandingan kekuatan dari material dan tegangan maksimum yang terjadi pada suatu struktur.

$$\frac{Strength}{StressMax} \ll 1$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya perbandingan dari kekuatan dan tegangan maksimum yang terjadi haruslah lebih besar dari sama dengan 1 dan apabila besarnya tegangan maksimum lebih besar dari sama dengan kekuatan material maka struktur tersebut mengalami kegagalan.

Perbandingan besarnya kriteria bahan ( $R_{eH}$ ) dengan tegangan maksimum (*von mises stress*) haruslah di atas 1. Hal ini dilakukan untuk mengecek apakah struktur pondasi senjata memiliki faktor keamanan dan keselamatan yang baik atau tidak. Perhitungan *safety factor* dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Cyprien, 2016):

$$Factor\ of\ Safety = \frac{Yield\ Strength}{Von\ Mises\ Stress}$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1. Metode**

Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah berupa analisis kekuatan dari pondasi melalui pemodelan yang dilakukan pada *software* metode elemen hingga dan menghitung faktor keamanan dari pondasi senjata tersebut.

#### **III.2. Jenis dan Sumber Data**

- **Jenis Data**

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data Kualitatif

Yaitu data yang didapat dari hasil wawancara dan observasi langsung dengan pihak terkait. Bentuk lain dari data kualitatif adalah gambar yang diperoleh melalui internet dan studi pustaka

2. Data Kuantitatif

Yaitu data yang berbentuk angka atau bilangan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

- **Sumber Data**

Berdasarkan sumbernya, data yang digunakan adalah:

1. Data Primer

Yaitu data yang diperoleh atau dikumpulkan secara langsung dari sumber data itu sendiri. Teknik yang digunakan peneliti untuk mengumpulkan data primer adalah melakukan wawancara pada pihak terkait.

2. Data Sekunder

Yaitu data yang diperoleh dari studi pustaka dan internet yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas oleh peneliti.

### **III.2.1. Data Kapal**

Data kapal yang digunakan adalah data kapal *Strategic Sealift Vessel* milik Filipina. Data kapal ini sebatas ukuran utama dan mesin yang digunakan yang dimuat di internet karena data ini bersifat konfidensial dan tidak dapat ditinjau lebih dalam.

### **III.2.2. Data Material Pondasi**

Untuk penggunaan material pada struktur pondasi senjata, penelitian ini menggunakan acuan *rules* oleh *Lloyd's Register* yang berupa data sekunder atau bersumber dari internet.

### **III.2.3. Data Dimensi dan Bentuk Pondasi**

Data dimensi dan bentuk dari pondasi senjata didapatkan dari pihak narasumber terkait dengan kapal SSV.

### **III.3. Bahan dan Alat Pengerjaan**

Pada pengerjaan tugas akhir ini dibantu dengan menggunakan berbagai macam perangkat lunak atau *software* elemen hingga.

### **III.4. Proses Pengerjaan**

Proses pengerjaan adalah garis besar tahap-tahap yang dilakukan pada saat penelitian dilakukan. Dengan adanya proses pengerjaan memudahkan dalam memahami penelitian ini.

#### **III.4.1. Tahap Identifikasi atau Latar Belakang Masalah**

Tahap ini adalah bagian yang berisi latar belakang masalah yaitu kurangnya penelitian pada bidang analisis pondasi senjata pada kapal perang dan perkembangan yang begitu pesat pada seluruh elemen teknologi masa kini termasuk senjata sehingga perlu ditinjau kembali kekuatan struktur dari pondasi senjata pada kapal SSV pertama yang dimiliki Filipina. Dengan adanya penelitian mengenai desain pondasi senjata pada kapal perang angkatan laut dengan menggunakan metode elemen hingga ini dapat membantu perkembangan pondasi di era teknologi ini agar dapat menyokong batas tegangan yang dialami oleh pondasi dari senjata yang kian berkembang.

#### **III.4.2. Tahap Perumusan Masalah**

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah menganalisis kekuatan dari konstruksi pondasi senjata pada kapal perang SSV dan menghitung faktor keamanan dari pondasi senjata tersebut.



### III.4.3. Tahap Pengumpulan Data

Untuk memulai penelitian, dibutuhkan data-data untuk melakukan perhitungan serta analisis mengenai data. Data yang diperlukan adalah:

- Data Kapal

Dimensi Utama : L = 123 m; B = 21.8 m; H = 11.3 m; T = 5 m



Gambar III.1 Spesifikasi *Strategic Sealift Vessels*.

- Data Material Pondasi

Analisis pada material pondasi senjata dilakukan dengan melakukan studi literatur dari *rules Lloyd's Register*. Struktur-struktur yang berada diatas air seperti *freeboard hull*, *superstructure*, dan *upperdeck* harus memiliki ketetapan **EB1**, **EB2**, **EB3**, dan **EB4**, yang dimana seluruhnya terbuat dari material *Grade D steel*. (Lloyd's Register, 2015)

Pengertian lebih lanjut dari **EB** adalah *External Air Blast* yaitu adalah sebuah notasi untuk mengukur penilaian dari sebuah metodologi. Penjelasan mengenai **EB** dapat dilihat di *Rules and Classification of Naval Ship Volume 1, Part 4, Chapter 2, Section 2* yang pada bagian analisis penggunaan material tidak dibahas lebih jauh karena sudah diluar analisis penggunaan material.

Informasi studi literatur pada Tahap Pengumpulan data, dapat disimpulkan bahwa penggunaan material pondasi senjata adalah dengan menggunakan material *Grade D Steel*. Data yang telah didapatkan mengenai material *Grade D Steel*, dapat dijabarkan detailnya sebagai berikut:

**LR Grade D Physical Properties:**

**Density** : 7.8 g/cm<sup>3</sup>  
: 7800 kg/m<sup>3</sup>

**LR Grade D Component Elements Properties:**

**Carbon (C): 0.21%; Silicon (Si): 0.1 – 0.35%;**  
**Manganese (Mn): 0.6%; Phosphorus (P): 0.035%;**  
**Sulfur (S): 0.035%;**

**LR Grade D Mechanical Properties:**

**Ultimate Tensile Str. (Rm) : 400 – 520 MPa**  
**Ultimate Tensile : 400 MPa**  
**Yield Tensile Str. (Re) : 235 MPa**  
**Elongation at Break (A%) : 24% (50 mm) dan 21% (200 mm)**  
**Bulk Modulus : 160 GPa**  
**Shear Modulus : 80 GPa**  
**Young's Modulus : 205.714 GPa**  
**Poisson's Ratio : 0.286**

► Mechanical property for LR Grade D shipbuilding structural steel:

Yield strength (≥Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Elongation in ≥,%	
235	400-520	200mm	50mm
		21	24

► Chemical composition for LR Grade D ship steel (Heat Analysis Max%)

Main chemical elements composition of LR Grade D				
C	Si	Mn	P	S
0.21	0.10-0.35	0.60	0.035	0.035

**Gambar III.2 LR Grade D**  
(Steelspecs, 2011)

- Data Jenis senjata yang digunakan.

**Tabel III.1 Karakteristik Senjata**

<b>Designation</b>	<b>Italy:</b> 76 mm/62 (3") Compact and SR <b>USN:</b> 76 mm/62 (3") Mark 75	
<b>Ship Class Used On</b>	<b>Compact:</b>  USN: Oliver Hazard Perry class Used by fifty nations  <b>Super Rapid:</b>  Italy: Animoso and Audace Royal Netherlands Navy: M-class frigates Danish: Standard Flex 300 Singapore: 62 m attack craft Canada: Tribal class	
<b>Date Of Design</b>	<b>Compact:</b> About 1963 <b>Super Rapid:</b> N/A	
<b>Date In Service</b>	<b>Compact:</b>  First introduced in 1964 USN Mark 75 Introduction: 1971  <b>Super Rapid:</b> About 1988	
<b>Gun Weight (tube and liner)</b>	1,686 lbs. (765 kg)	
<b>Gun Length oa</b>	N/A	
<b>Bore Length</b>	186 in (4.724 m)	
<b>Rifling Length</b>	158 in (4.012 m)	
<b>Grooves</b>	24	
<b>Lands</b>	N/A	
<b>Twist</b>	Uniform RH 1 in 30	
<b>Chamber Volume</b>	N/A	
<b>Rate Of Fire</b>	<b>Compact and Mark 75:</b> 80 - 85 rounds per minute (in automatic mode) <b>Compact with retrofit kit:</b> 100 rounds per minute <b>SR:</b> 120 rounds per minute (139 achieved on trials)	

**Tabel III.2 Amunisi Senjata**

<b>Type</b>	Fixed
<b>Weight of Complete Round</b>	<b>All except Vulcano:</b> 27.2 lbs. (12.34 kg) <b>Vulcano:</b> N/A
<b>Projectile Types and Weights</b> (see Notes 5 and 6)	<b>Compact:</b>  <b>All types:</b> 13.88 lbs. (6.296 kg)  <b>Super Rapid <sup>1</sup>:</b>  <b>SAPOM:</b> 14.0 lbs. (6.35 kg) <b>SAPOMER:</b> 14.6 lbs. (6.6 kg) <b>DART <sup>2</sup>:</b> 8.8 lbs. (4.0 kg)  <b>76 mm Vulcano <sup>3</sup>:</b> 11 lbs. (5 kg)
<b>Bursting Charge</b>	<b>HE-MOM <sup>4</sup>:</b> 1.65 lbs. (0.75 kg) <b>SAPOM:</b> 1.01 lbs. (0.46 kg) Compound A3 HE <b>SAPOMER:</b> 1.15 lbs. (0.52 kg) HEXAL-30 <b>DART:</b> 0.88 lbs (0.4 kg)  <b>Vulcano (Pre-fragmented, multipurpose, SAP):</b> N/A
<b>Projectile Length</b>	<b>HE-MOM:</b> 13.98 in (35.5 cm) <b>SAPOM:</b> 14.4 in (36.6 cm) <b>SAPOMER:</b> 14.78 in (37.6 cm) <b>Vulcano:</b> N/A  <b>Complete Round:</b> 35.45 in (90.04 cm)
<b>Propellant Charge</b>	7.85 lbs. (3.56 kg)
<b>Cartridge</b>	76.2 mm x 635.5 mm
<b>Muzzle Velocity</b>	3,000 - 3,024 fps (914 - 925 mps)
<b>Working Pressure</b>	22.8 tons/in <sup>2</sup> (3,400 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Approximate Barrel Life</b>	N/A
<b>Ammunition stowage per gun</b>	<b>Compact:</b> 80 ready rounds on mount <sup>5</sup> <b>SR:</b> 85 ready rounds on mount

**Tabel III.3 Jarak Tembak Senjata**

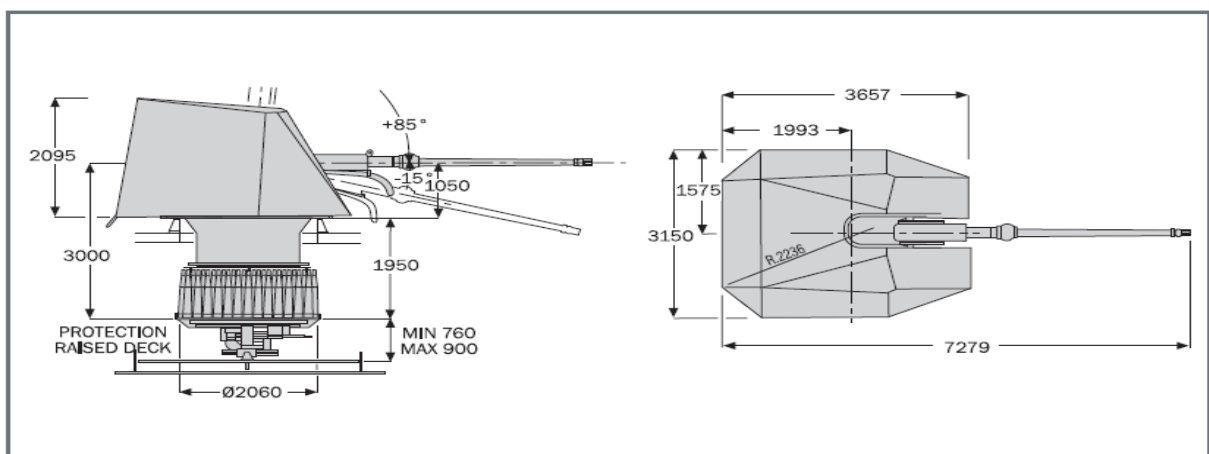
<b>Elevation</b>	<b>Shell</b>				
	<b>13.88 lbs. (6.296 kg) HE</b>	<b>14.3 lbs. (6.5 kg) SAPOM</b>	<b>14.6 lbs. (6.6 kg) SAPOMER</b>	<b>DART</b>	<b>Vulcano</b>
Range @ 45 degrees	20,122 yards (18,400 m)	17,500 yards (16,000 m)	21,870 yards (20,000 m)	-	-
Effective Range	8,700 yards (8,000 m)	-	-	5,500 yards (5,000 m)	43,750 yards (40,000 m)
AA @ 85 degrees	13,200 feet (4,000 m)	-	-	-	-

**Tabel III.4 Mounting Senjata**

<b>Designation</b>	<b>Single Mountings:</b>  <b>Italy:</b> Compact, Super Rapid (SR) and Strales <b>USN:</b> Mark 75
<b>Weight</b>	<b>Compact (without ammunition):</b> 16,400 lbs. (7,439 kg) <b>SR (without ammunition):</b> 16,800 lbs. (7,620 kg) <b>Strales:</b> N/A  <b>Compact (with ammunition and off-mount components):</b> 18,783 lbs. (8,520 kg)
<b>Elevation</b>	-15 / +85 degrees
<b>Elevation Rate</b>	35 degrees per second
<b>Train</b>	unlimited (uses a slip ring)
<b>Train Rate</b>	60 degrees per second
<b>Gun recoil</b>	N/A

<b>Rate of Fire</b>	120rds/min
<b>Dry Weight (without ammunition)</b>	7900 kg
<b>Training arc (with slip ring)</b>	Unlimited
<b>Elevation arc</b>	-15° / +85°
<b>Training speed/acceleration max</b>	60° /sec (72° /sec <sup>2</sup> )
<b>Elevation speed/acceleration</b>	30° /sec (72° /sec <sup>2</sup> )
<b>Ready-to-fire-rounds</b>	80 (on gun mount)
<b>Range, max</b>	16000 m standard ammo.  20000 m with extended range OTO SAPOMER.  40000 m with guided long range (GLR) Vulcano 76 ammo (in development).
<b>Cooling system</b>	Sea water – fresh water for flushing
<b>Electrical power supply</b>	440V, 3-Phase, 60Hz, main circuit;  115V, 1-Phase, 400Hz, servo and syncro network.

(Navweaps, 2013)

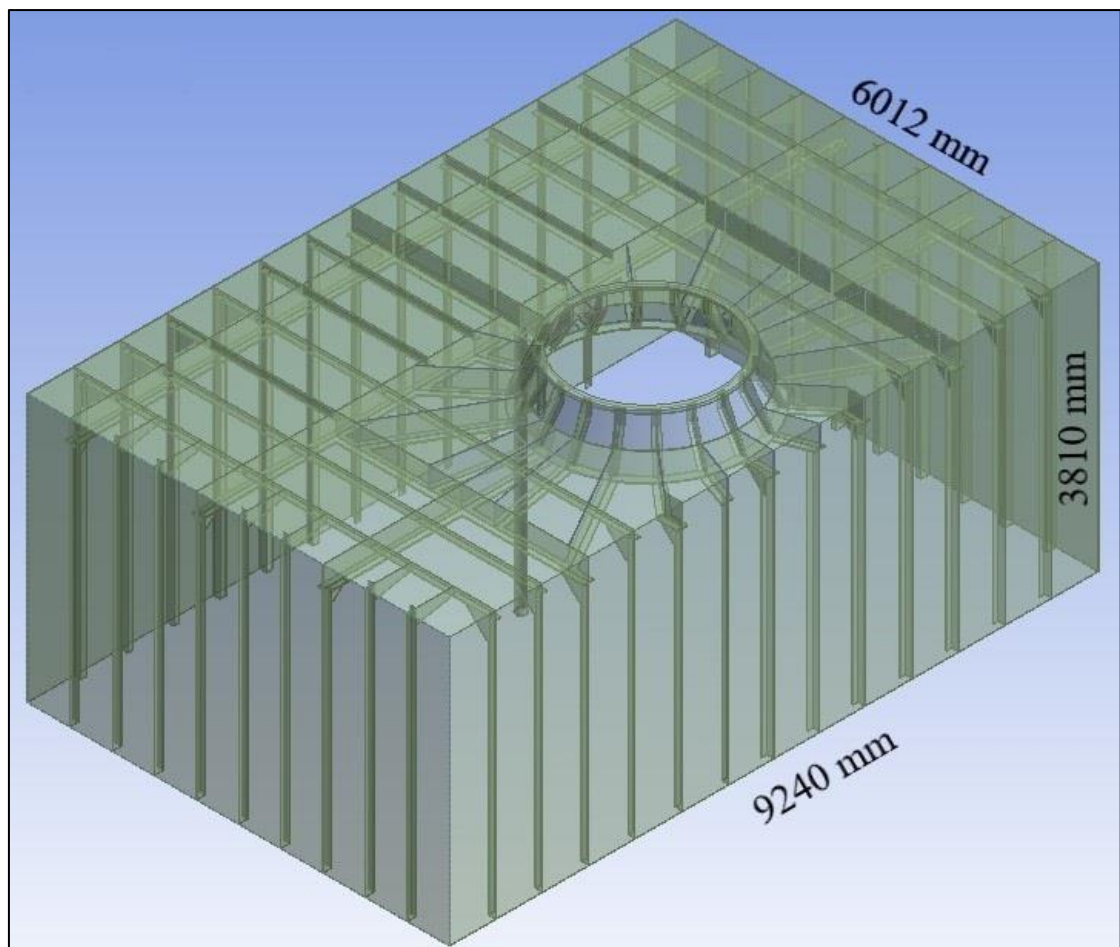


**Gambar III.3 OTO-Melara Super Rapid**  
(LeonardoCompany, 2016)



**Gambar III.4 Amunisi 76 mm  
(DIEHL, 2009)**

- Data Dimensi dan Bentuk pondasi.



**Gambar III.5 Pondasi Senjata**

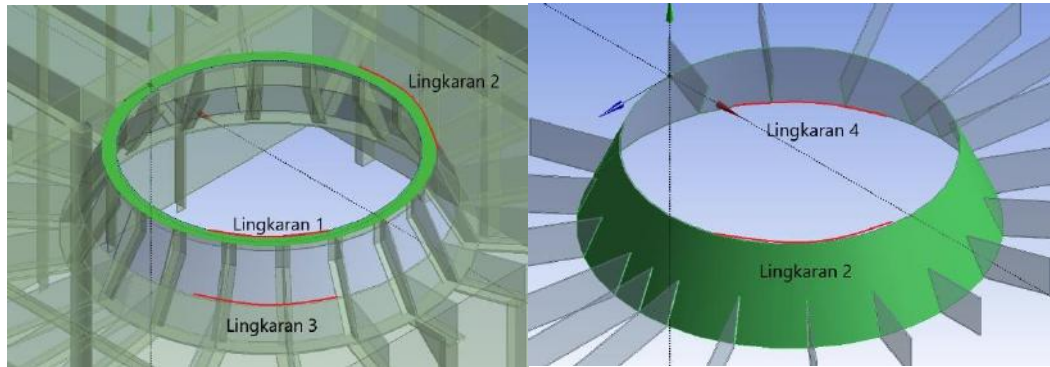
Dimensi Pondasi:

Lebar : 6012 mm

Panjang : 9240 mm

Tinggi : 3810 mm

Tebal : 7 mm



Gambar III.6 Luasan Lingkaran A (kiri) dan B (kanan)

Dimensi Lingkaran:

Radius Lingkaran 1 : 1037.5 mm

Radius Lingkaran 3: 1295.5 mm

Radius Lingkaran 2 : 1136.5 mm

Radius Lingkaran 4: 1430 mm

#### III.4.4. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, pembebanan yang terjadi pada pondasi diidentifikasi dan dihitung besarnya. Beban tersebut adalah akibat dari senjata yang melakukan operasi atau penembakan pada saat digunakan. Pembebanan tersebut termasuk berat senjata dan berat pondasi, *recoil force* atau hentak mundur dari senjata dan *gun blast pressure* pada saat pemembakan.

Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan berat yang dilakukan dengan mencari berat dari senjata, total amunisi yang tersedia, berat amunisi, ukuran pondasi senjata, dan massa jenis baja. Penjelasan perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:

##### Massa Jenis Grade D Steel

$\rho_{\text{Grade D Steel}}$  : 7800 kg/m<sup>3</sup>

##### Senjata & Amunisi

Berat Senjata : 7.9 ton = 7900 kg

Berat Amunisi : 12.5 kg x 80 rounds = 1000 kg

Total Berat Senjata dan 80 Amunisi = 8900 kg



### **Pondasi Senjata (5 Sisi Pelat)**

#### **Tebal 7 mm**

Pelat Sisi 1	: $9.24 \times 6.012 \times 0.007 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 3033.078 kg
Pelat Sisi 2	: $3.81 \times 6.012 \times 0.007 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 1250.652 kg
Pelat Sisi 3	: $9.24 \times 3.810 \times 0.007 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 1922.160 kg
Pelat Sisi 4 = Pelat Sisi 2		= 1250.652 kg
Pelat Sisi 5 = Pelat Sisi 3		= 1922.160 kg
Total Berat Pelat 7 mm		= 9378.703 kg

#### **Tebal 6 mm**

Pelat Sisi 1	: $9.24 \times 6.012 \times 0.006 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 2599.781 kg
Pelat Sisi 2	: $3.81 \times 6.012 \times 0.006 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 1071.988 kg
Pelat Sisi 3	: $9.24 \times 3.810 \times 0.006 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 1647.566 kg
Pelat Sisi 4 = Pelat Sisi 2		= 1071.988 kg
Pelat Sisi 5 = Pelat Sisi 3		= 1647.566 kg
Total Berat Pelat 6 mm		= 8038.888 kg

#### **Tebal 5 mm**

Pelat Sisi 1	: $9.24 \times 6.012 \times 0.005 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 2166.484 kg
Pelat Sisi 2	: $3.81 \times 6.012 \times 0.005 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 893.323 kg
Pelat Sisi 3	: $9.24 \times 3.810 \times 0.005 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3$	= 1372.972 kg
Pelat Sisi 4 = Pelat Sisi 2		= 893.323 kg
Pelat Sisi 5 = Pelat Sisi 3		= 1372.972 kg
Total Berat Pelat 5 mm		= 6699.074 kg

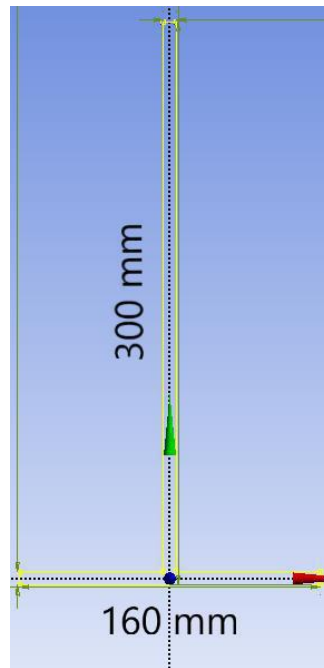
#### **Titik Berat Pondasi:**

Koordinat:	X= $\frac{1}{2}$ Panjang Pondasi	= $9240 \times 0.5$	= 4.620 m
	Y= $\frac{1}{2}$ Tinggi Pondasi	= $3810 \times 0.5$	= 1.905 m
	Z= $\frac{1}{2}$ Lebar Pondasi	= $6012 \times 0.5$	= 3.006 m

#### **Titik Berat Senjata pada Pondasi Senjata:**

Koordinat:	X= $\frac{1}{2}$ Panjang Pondasi	= $9240 \times 0.5$	= 4.620 m
	Y= Tinggi Pondasi + Tinggi Kerucut + ( $\frac{1}{2}$ Tinggi Senjata – Tinggi Bagian Bawah Senjata)	= $3810 + 300 + 72.5$	= 4.183 m
	Z= $\frac{3}{4}$ Lebar Pondasi	= $6012 \times 0.75$	= 1.503 m

## Profil T



**Gambar III.7 Ukuran Profil T**

### Tebal 7 mm

Jumlah Profil T Berdiri : 31 Buah (Panjang 3.81 m)

Jumlah Profil T Memanjang : 2 Buah (Panjang 9.24 m) dan 2 Buah (Panjang 5.034 m)

Jumlah Profil T Melebar : 10 Buah (Panjang 6.012 m), 4 Buah (Panjang 2.406 m) dan 1 Buah (Panjang 2.906 m)

Berat Profil T Berdiri :  $(0.16 \times 3.81 \times 0.007 \times 7800 \times 31) + (0.3 \times 3.81 \times 0.007 \times 7800 \times 31) = 2966.451 \text{ kg}$

Berat Profil T Memanjang :  $((0.16 \times 9.24 \times 0.007 \times 7800 \times 2) + (0.3 \times 9.24 \times 0.007 \times 7800 \times 2)) + ((0.16 \times 5.034 \times 0.007 \times 7800 \times 2) + (0.3 \times 5.034 \times 0.007 \times 7800 \times 2)) = 717.012 \text{ kg}$

Berat Profil T Melebar :  $((0.16 \times 6.012 \times 0.007 \times 7800 \times 10) + (0.3 \times 6.012 \times 0.007 \times 7800 \times 10)) + ((0.16 \times 2.406 \times 0.007 \times 7800 \times 4) + (0.3 \times 2.406 \times 0.007 \times 7800 \times 4)) + ((0.16 \times 2.906 \times 0.007 \times 7800 \times 1) + (0.3 \times 2.906 \times 0.007 \times 7800 \times 1)) = 1824.677 \text{ kg}$

Total Berat Profil T 7 mm = 5508.140 kg

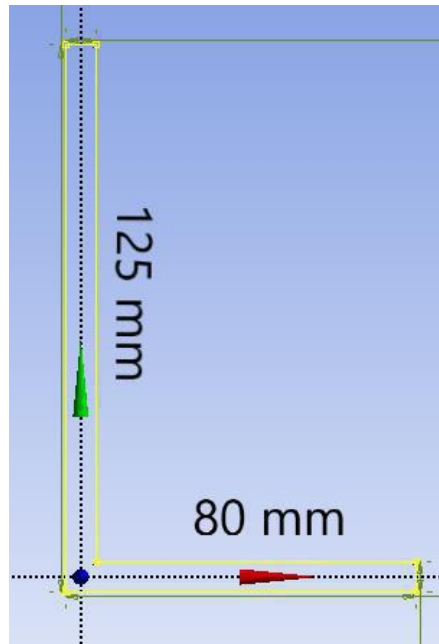
#### Tebal 6 mm

Jumlah Profil T Berdiri	: 31 Buah (Panjang 3.81 m)
Jumlah Profil T Memanjang	: 2 Buah (Panjang 9.24 m) dan 2 Buah (Panjang 5.034 m)
Jumlah Profil T Melebar	: 10 Buah (Panjang 6.012 m), 4 Buah (Panjang 2.406 m) dan 1 Buah (Panjang 2.906 m)
Berat Profil T Berdiri	: $(0.16 \times 3.81 \times 0.006 \times 7800 \times 31) + (0.3 \times 3.81 \times 0.006 \times 7800 \times 31) = 2542.672 \text{ kg}$
Berat Profil T Memanjang	: $((0.16 \times 9.24 \times 0.006 \times 7800 \times 2) + (0.3 \times 9.24 \times 0.006 \times 7800 \times 2)) + ((0.16 \times 5.034 \times 0.006 \times 7800 \times 2) + (0.3 \times 5.034 \times 0.006 \times 7800 \times 2)) = 614.581 \text{ kg}$
Berat Profil T Melebar	: $((0.16 \times 6.012 \times 0.006 \times 7800 \times 10) + (0.3 \times 6.012 \times 0.006 \times 7800 \times 10)) + ((0.16 \times 2.406 \times 0.006 \times 7800 \times 4) + (0.3 \times 2.406 \times 0.006 \times 7800 \times 4)) + ((0.16 \times 2.906 \times 0.006 \times 7800 \times 1) + (0.3 \times 2.906 \times 0.006 \times 7800 \times 1)) = 1564.009 \text{ kg}$
Total Berat Profil T 6 mm	= 4721.263 kg

#### Tebal 5 mm

Jumlah Profil T Berdiri	: 31 Buah (Panjang 3.81 m)
Jumlah Profil T Memanjang	: 2 Buah (Panjang 9.24 m) dan 2 Buah (Panjang 5.034 m)
Jumlah Profil T Melebar	: 10 Buah (Panjang 6.012 m), 4 Buah (Panjang 2.406 m) dan 1 Buah (Panjang 2.906 m)
Berat Profil T Berdiri	: $(0.16 \times 3.81 \times 0.005 \times 7800 \times 31) + (0.3 \times 3.81 \times 0.005 \times 7800 \times 31) = 2118.893 \text{ kg}$
Berat Profil T Memanjang	: $((0.16 \times 9.24 \times 0.005 \times 7800 \times 2) + (0.3 \times 9.24 \times 0.005 \times 7800 \times 2)) + ((0.16 \times 5.034 \times 0.005 \times 7800 \times 2) + (0.3 \times 5.034 \times 0.005 \times 7800 \times 2)) = 512.151 \text{ kg}$
Berat Profil T Melebar	: $((0.16 \times 6.012 \times 0.005 \times 7800 \times 10) + (0.3 \times 6.012 \times 0.005 \times 7800 \times 10)) + ((0.16 \times 2.406 \times 0.005 \times 7800 \times 4) + (0.3 \times 2.406 \times 0.005 \times 7800 \times 4)) + ((0.16 \times 2.906 \times 0.005 \times 7800 \times 1) + (0.3 \times 2.906 \times 0.005 \times 7800 \times 1)) = 1303.341 \text{ kg}$
Total Berat Profil T 5 mm	= 3934.846 kg

## Profil L



**Gambar III.8 Profil L**

### Tebal 7 mm

Jumlah Profil L : 16 Buah (Panjang 3.81 m)

Berat Profil L :  $(0.08 \times 3.81 \times 0.007 \times 7800 \times 16) + (0.125 \times 3.81 \times 0.007 \times 7800 \times 16) = 682.325 \text{ kg}$

### Tebal 6 mm

Jumlah Profil L : 16 Buah (Panjang 3.81 m)

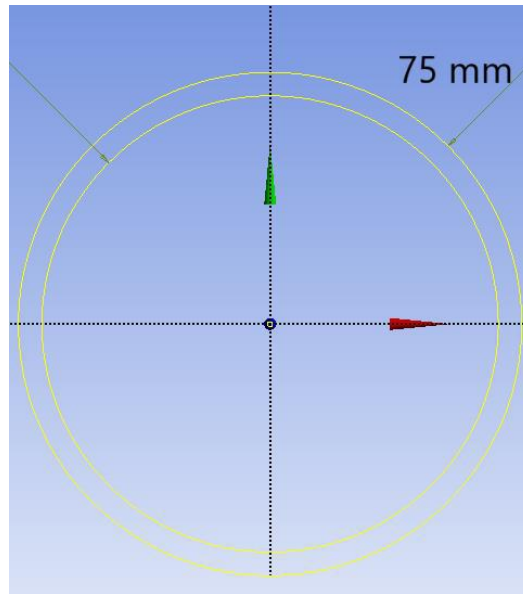
Berat Profil L :  $(0.08 \times 3.81 \times 0.006 \times 7800 \times 16) + (0.125 \times 3.81 \times 0.006 \times 7800 \times 16) = 584.850 \text{ kg}$

### Tebal 5 mm

Jumlah Profil L : 16 Buah (Panjang 3.81 m)

Berat Profil L :  $(0.08 \times 3.81 \times 0.005 \times 7800 \times 16) + (0.125 \times 3.81 \times 0.005 \times 7800 \times 16) = 487.375 \text{ kg}$

### Pillar



**Gambar III.9 Diameter terluar pilar 75 mm.**

#### Tebal 7 mm

$$\begin{aligned}\text{Berat Pillar} & : (\pi \times 0.075^2 \times 3.81) - (\pi \times (0.075 - 0.007)^2 \times 3.81) \\ & = 93.408 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### Tebal 6 mm

$$\begin{aligned}\text{Berat Pillar} & : (\pi \times 0.075^2 \times 3.81) - (\pi \times (0.075 - 0.006)^2 \times 3.81) \\ & = 80.624 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### Tebal 5 mm

$$\begin{aligned}\text{Berat Pillar} & : (\pi \times 0.075^2 \times 3.81) - (\pi \times (0.075 - 0.005)^2 \times 3.81) \\ & = 67.653 \text{ kg}\end{aligned}$$

Dari perhitungan berat di atas, dapat disimpulkan untuk total berat senjata dan pondasi menjadi table berikut:

**Tabel III.5 Rangkuman Berat Pondasi, Profil & Pillar, dan Senjata.**

Tebal (mm)	Berat Pelat (kg)	Berat Profil dan Pillar (kg)	Berat Senjata (kg)
7	9378.703	6283.873	8900
6	8038.888	5386.737	
5	6699.074	4489.874	

Untuk perhitungan gaya dilakukan dengan berdasarkan *rules* yang ada pada *Lloyd's Register* serta dengan rumus-rumus sederhana seperti rumus energi, momentum dan lainnya.

### **Gun Blast Pressure**

*Gun Blast Pressure* adalah tekanan atau beban pada struktur yang diakibatkan oleh ledakan pada senjata pada saat senjata tersebut menembak. Besarnya tekanan yang terjadi akibat ledakan pada saat menembak tergantung dari jarak sumber ledakan dengan bagian pondasi, yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut: (Lloyd's Register, 2015)

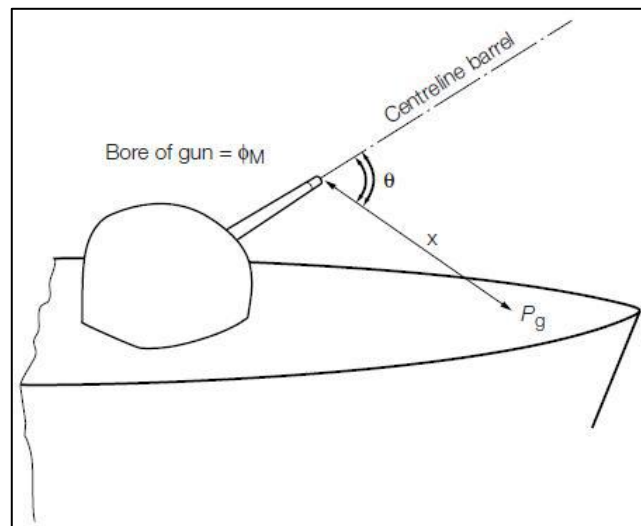
$$P_g = 2(1 + \cos \theta)^2 \left(\frac{\phi_m}{x}\right)^{1,5} \times 10^3 \text{ kN/m}^2$$

Dimana:

$\phi_m$  : Panjang Laras Senjata, dalam mm

$x$  : Jarak titik ujung laras (*Muzzle*) hingga titik tekanan pada pondasi, dalam mm

$\theta$  : Sudut tembakan.



Sehingga perhitungan dapat dilakukan sebagai berikut:

**Variasi Sudut** = -15° (Min.), 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 85° (Max)

**Besar  $\theta$**  = 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°, 175°

**Panjang Muzzle** = Panjang Total Senjata – Panjang Rumah Senjata  
= 7279 mm – 3657 mm = 3622 mm

**Tinggi Titik Pressure** = h Rumah Senjata + h Bracket Senjata + ½ h Pondasi  
= 1050 mm + 300 mm + 1905 mm = 3255 mm

**Jarak Muzzle – Pressure**= x<sub>0</sub> : Rumus Pythagoras

$$= ((3622)^2 + (3255)^2)^{1/2}$$

$$= x_0 : 4869.69 \text{ mm}$$

untuk -15°, 15°, dst. menggunakan persamaan trigonometri

$$A = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right); B = \arccos\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right); C = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right)$$

= x<sub>-15</sub>: 4196.565 mm

= x<sub>60</sub>: 6643.351 mm

= x<sub>15</sub>: 5460.463 mm

= x<sub>75</sub>: 6818.335 mm

= x<sub>30</sub>: 5958.483 mm

= x<sub>85</sub>: 6870.473 mm

= x<sub>45</sub>: 6355.072 mm

**Panjang Bore Senjata**

= φ m : 76 mm

**Gun Blast Pressure 0°**

= 2 x (1 + cos 90°)<sup>2</sup> x (76/3622)<sup>1.5</sup> x 10<sup>3</sup>

= 57.395 Pa untuk 1 Amunisi

= 57.395 Pa x 80 Amunisi = 5491.623 Pa

**Gun Blast Pressure -15°**

= 22.304 Pa x 80 Amunisi = 2497.077 Pa

**Gun Blast Pressure 15°**

= 22.304 Pa x 80 Amunisi = 1223.355 Pa

**Gun Blast Pressure 30°**

= 17.059 Pa x 80 Amunisi = 510.197 Pa

**Gun Blast Pressure 45°**

= 10.534 Pa x 80 Amunisi = 164.147 Pa

**Gun Blast Pressure 60°**

= 4.836 Pa x 80 Amunisi = 32.854 Pa

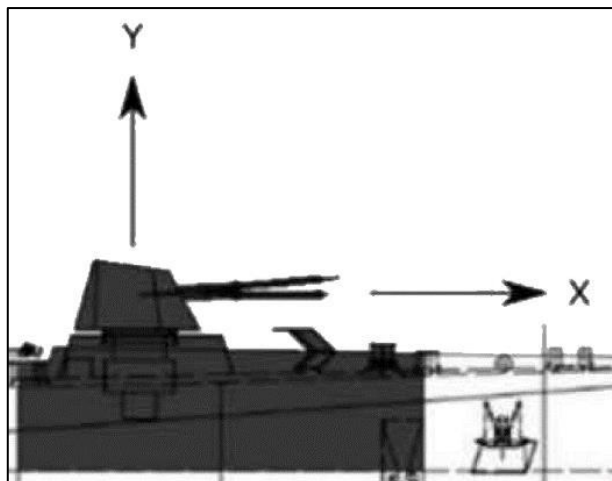
**Gun Blast Pressure 75°**

= 1.268 Pa x 80 Amunisi = 2.071 Pa

**Gun Blast Pressure 85°**

= 0.185 Pa x 80 Amunisi = 0.026 Pa

Perhitungan *gun blast pressure* di atas dilakukan dengan posisi senjata diarahkan secara vertikal ke atas (X dan Y) dari pandangan samping kapal seperti pada Gambar III.10.

Gambar III.10 Arah *gun blast pressure*.

### Gun Recoil Force

Dari sebuah tembakan pada senjata terdapat *recoil kinetic energy* yaitu energi kinetik dari gerak mundur senjata (*knockback*) yang dihasilkan senjata pada saat senjata tersebut ditembakkan. Dan juga terdapat *propellant gas energy* yaitu energi kinetik yang dihasilkan dari reaksi kimia pada saat ledakan di dalam senjata terjadi. Namun *propellant gas energy* tidak terlalu berpengaruh karena pengaruhnya sangatlah kecil terhadap senjata, jadi tidak akan di masukan kedalam perhitungan. Untuk menghitung gaya *recoil*, pada perhitungan ini menggunakan rumus sederhana energi kinetik dan hubungannya. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada perhitungan berikut:

Muzzle Velocity ( $V_o$ ) : 915 m/s

#### Berat

Berat Proyektil ( $W_a$ ) : 12.5 kg

Berat Propellant Charge ( $W_c$ ): 3.56 kg

Berat Recoil Part ( $W_r$ ) : Volume Muzzle x Massa Jenis Baja  
:  $(3.14 \times 0.038^2 \times 5.286) \times 7850 = 187.078 \text{ kg}$

#### Energy Recoil

Energi Kinetik Proyektil :  $\frac{1}{2} \times W_a/g \times V_o^2$  =  $0.5 \times 12.5/9.81 \times 915^2$   
: =  $0.533 \times 10^6 \text{ Joule}$

Energi Kinetik Gas Prop. :  $\frac{1}{2} \times (1/2 \times W_c/g) \times V_o^2$  =  $0.5 \times (0.5 \times 3.56/9.81) \times 915^2$   
: =  $0.076 \times 10^6 \text{ Joule}$

Data empiris yang telah dibuktikan menunjukkan bahwa hanya setengah dari *propellant gas* yang berefek pada kecepatan *muzzle* pada saat penembakan, sehingga penambahan dibagi 2 dari perhitungan sebelumnya. Setengah dari *propellant gas* keluar dengan kecepatan yang lebih tinggi pada saat proyektil ditembakkan. Untuk menghitung energi kinetik dari *propellant gas* setelah penembakan, haruslah menghitung kecepatan rata-rata dari gas yang keluar dari *muzzle*. Dan dari eksperimen sebelumnya telah diketahui bahwa kecepatan *propellant gas* keluar dari *muzzle* dengan kecepatan yang bervariasi antara 1200 – 1400 meter/sec, tergantung kecepatan dari *muzzle* senjata. Dan untuk perhitungan digunakan kecepatan 1200. (R. Germershausen, 1982)

Kecepatan Rata-rata Gas ( $w$ ) : 1200 m/s

Energi Kinetik Gas :  $\frac{1}{2} \times (1/2 \times W_c/g) \times w^2$  =  $0.5 \times (0.5 \times 3.56/9.81) \times 1200^2$   
: =  $0.131 \times 10^6 \text{ Joule}$



Menghitung energi kinetik dari *recoiling parts* harus menghitung kecepatan *recoiling parts* tersebut atau biasa disebut *free recoil velocity*. Untuk menghitung perbandingan kecepatan dari proyektil dan *propellant gas*, diperlukan koefisien *aftereffect* (B) yang dapat diketahui dengan persamaan:  $w=B \cdot V_o$ . (R. Germershausen, 1982)

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Aftereffect (B)} &: w/V_o = 1200/915 = 1.311 \\ \text{Free Recoil Velocity (Vre)} &: ((W_a/g + (B \times \frac{1}{2}W_c/g) + (\frac{1}{2} \times W_c/g))/(W_r/g) \times V_o \\ &: \frac{((12.5/9.81) + (1.311 \times 1.78/9.81) + (1.78/9.81))}{(187.078/9.81)} \times 915 \\ &: 81.184 \text{ m/s} \\ \text{Recoil Energy} &: ((W_r/g)/2 \times V_{re}^2) = ((187.078/9.81)/2 \times (81.184^2)) \\ &: = 62.854 \times 10^3 \text{ Joule (N.m)} \\ \text{Recoil Force} &: \text{Dibagi Recoil Part} = 62.854 \times 10^3 \text{ Joule}/5.286 \text{ m} \\ &: = 1.189 \times 10^4 \text{ Newton} \end{aligned}$$

Karena perhitungan di atas dilakukan dengan penggabungan rumus dasar fisika, maka diperlukannya data *recoil force* pembanding untuk mengetahui apakah perhitungan di atas sudah benar dan juga dilakukan penambahan *margin* kurang lebih sebesar 10% untuk mengantisipasi kekurangan dari perhitungan di atas.

$$(1.189 \times 10^4 \text{ N}) + 10\% \text{ Margin} = 1.308 \times 10^4 \text{ Newton}$$

Data *recoil force* pembanding:

*Offshore Patrol Vessels Series 80* by COTECMAR Colombian Navy 76 mm

Recoil Force:  $1.28 \times 10^4$  Newton

Dari data *recoil force* pembanding di atas besarnya perhitungan yang telah dilakukan tidak terlalu jauh, sehingga perhitungan besarnya *recoil force* pada sudut tembak  $0^\circ$  adalah sebesar:  $1.308 \times 10^4$  Newton. Penggunaan rumus penyebaran gaya pada sudut tembak lainnya didapat:

Penembakan $-15^\circ$ =	$F_x = 12634.310 \text{ N}$ $F_y = -3385.353 \text{ N}$	Penembakan $0^\circ$ =	$F_x = 13080 \text{ N}$ $F_y = 0 \text{ N}$
Penembakan $15^\circ$ =	$F_x = 12634.310 \text{ N}$ $F_y = 3385.353 \text{ N}$	Penembakan $30^\circ$ =	$F_x = 11327.612 \text{ N}$ $F_y = 6540 \text{ N}$
Penembakan $45^\circ$ =	$F_x = 9248.957 \text{ N}$ $F_y = 9248.957 \text{ N}$	Penembakan $60^\circ$ =	$F_x = 6540 \text{ N}$ $F_y = 11327.612 \text{ N}$

$$\begin{aligned}\text{Penembakan } 75^\circ &= F_x = 3385.353 \text{ N} \\ &F_y = 12634.310 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penembakan } 85^\circ &= F_x = 1139.997 \text{ N} \\ &F_y = 13030.227 \text{ N}\end{aligned}$$

### **Menghitung Percepatan Recoil dari senjata**

Diketahui dari katalog senjata:

*Rate of Fire* : 120 peluru/mnt = 2 peluru/detik

*Ready-to-fire-round* : 80 peluru

Berat Senjata : 8900 kg

*Muzzle Velocity* : 915 m/s

Berat Peluru/buah : 12.5 kg

Penyelesaian:

Waktu Beroperasi : 80 Peluru / 2 Peluru/detik = 40 Detik

$$\text{Percepatan} : 915 \times 12.5 = \frac{11437.5 \text{ kg.m/s}}{7800 \text{ kg}} = \frac{1.448 \text{ m/s}}{40 \text{ s}} = 0.0362 \text{ m/s}^2$$

(Keenan M, 2017)

Dan untuk *Acceleration* atau percepatan yang didapat untuk setiap sudutnya adalah:

$$\begin{aligned}\text{Penembakan } -15^\circ &= a_x = 0.03497 \text{ m/s}^2 & \text{Penembakan } 0^\circ &= a_x = 0.0362 \text{ m/s}^2 \\ &a_y = -0.00937 \text{ m/s}^2 & &a_y = 0 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penembakan } 15^\circ &= a_x = 0.03497 \text{ m/s}^2 & \text{Penembakan } 30^\circ &= a_x = 0.03135 \text{ m/s}^2 \\ &a_y = 0.00937 \text{ m/s}^2 & &a_y = 0.0181 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penembakan } 45^\circ &= a_x = 0.0256 \text{ m/s}^2 & \text{Penembakan } 60^\circ &= a_x = 0.0181 \text{ m/s}^2 \\ &a_y = 0.0256 \text{ m/s}^2 & &a_y = 0.03135 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

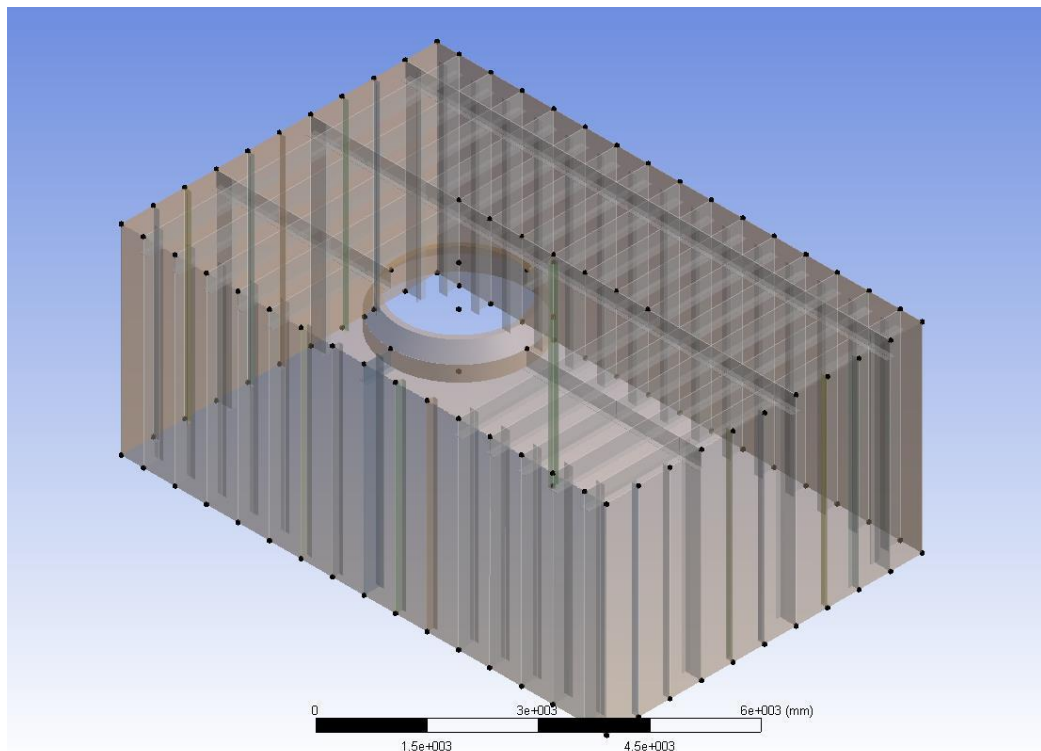
$$\begin{aligned}\text{Penembakan } 75^\circ &= a_x = 0.00937 \text{ m/s}^2 & \text{Penembakan } 85^\circ &= a_x = 0.00346 \text{ m/s}^2 \\ &a_y = 0.03497 \text{ m/s}^2 & &a_y = 0.03606 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

**Tabel III.6 Ringkasan besar gaya berdasarkan derajat penembakan.**

Sudut Tembakan (°)	Gun Blast Pressure (Pa)	Recoil Force (N)		Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	
		<i>F<sub>x</sub></i>	<i>F<sub>y</sub></i>	<i>a<sub>x</sub></i>	<i>a<sub>y</sub></i>
-15	5,491.623	-3,385.353	12,634.310	0.035	-0.009
0	2,497.077	13,080.000	0.000	0.036	0.000
15	1,223.355	12,634.310	3,385.353	0.035	0.009
30	510.197	11,327.612	6,540.000	0.031	0.018
45	164.147	9,248.957	9,248.957	0.026	0.026
60	32.854	6,540.000	11,327.612	0.018	0.031
75	2.071	3,385.353	12,634.310	0.009	0.035
85	0.026	1,139.997	13,030.227	0.003	0.036

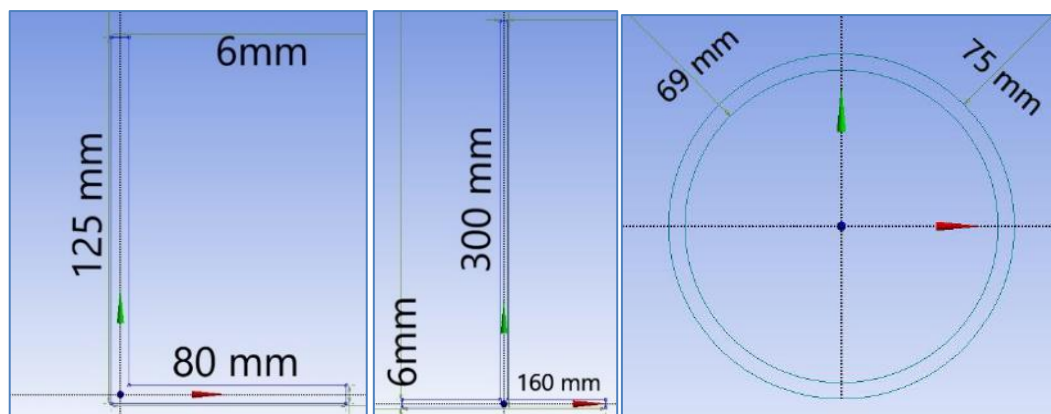
### III.4.5. Tahap Pemodelan dan Konvergensi Model

Setelah melakukan perhitungan gaya dan beban, dilakukan pemodelan dengan menggunakan bantuan *software* elemen hingga yang kemudian diuji untuk mendapatkan tegangan *von mises* (maksimum) dari model tersebut. Setelah itu menghitung tegangan izin struktur dan melakukan perbandingan antara tegangan *von mises* dan tegangan izin untuk mendapatkan angka faktor keamanan struktur pondasi tersebut. Berikut adalah desain pondasi yang telah dibuat:



**Gambar III.11 Model Rumah Pondasi Senjata**

Profil pada yang digunakan pada desain rumah pondasi senjata adalah profil L dan T. Berikut adalah detail profil serta detail pilar yang digunakan:

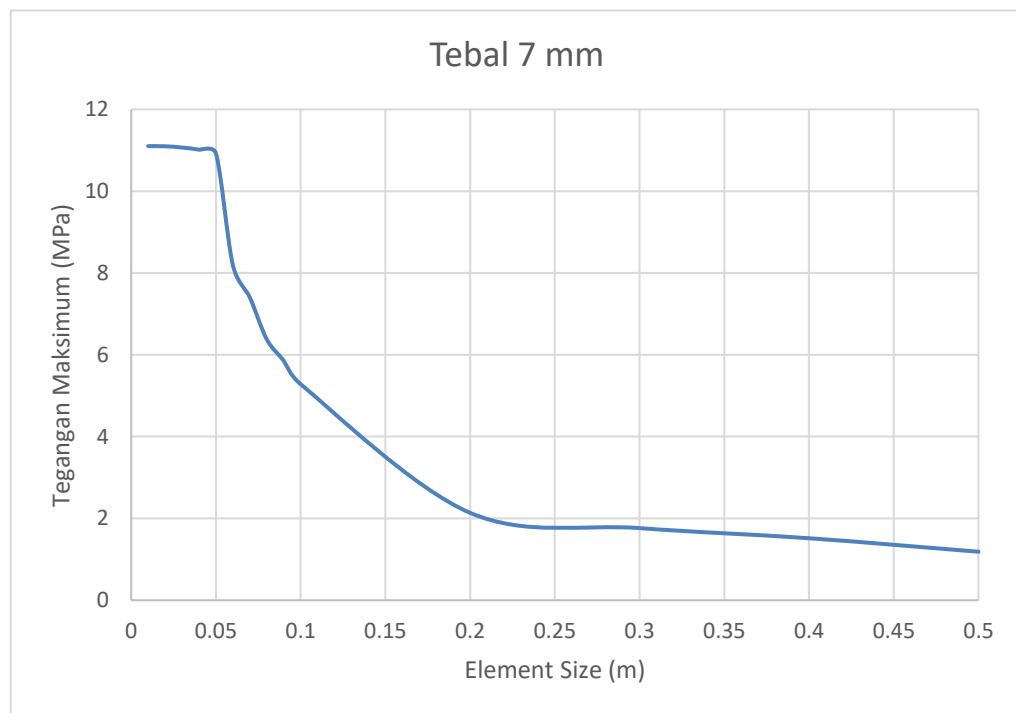


**Gambar III.12 Profil Penegar dan Pilar Untuk Tebal 6 mm**

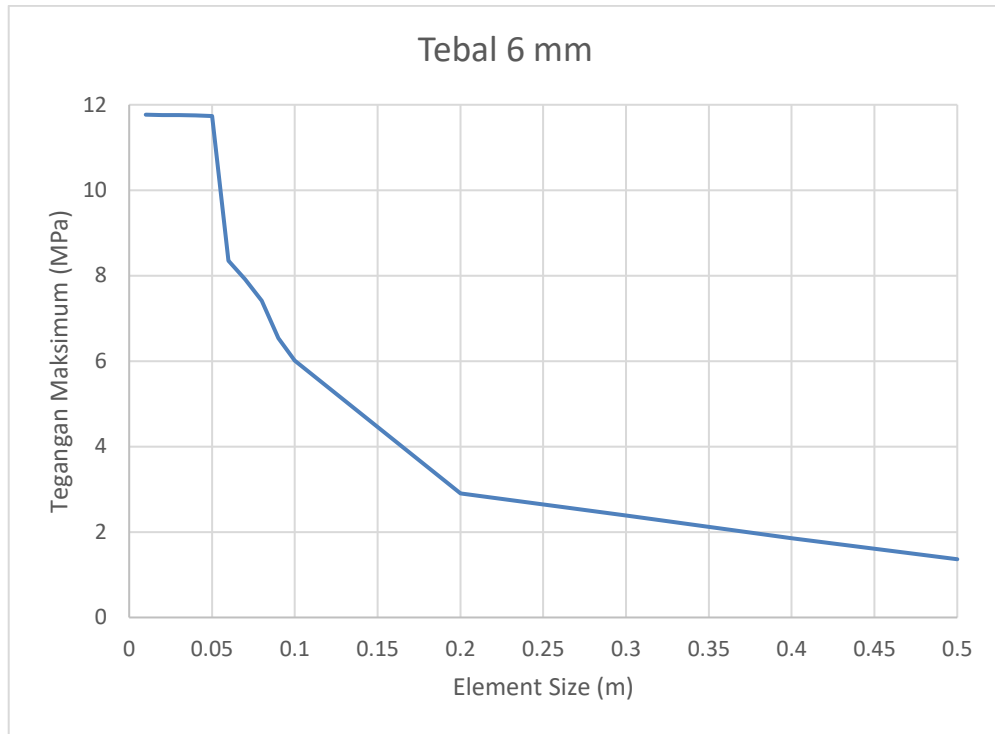
Konvergensi model dilakukan dengan merubah *element size* pada saat melakukan *meshing* pada model. Rentang atau jarak *element size* dilakukan statik dengan penambahan 0.1 m dari 0.5 m hingga 0.1 m, dan untuk 0.1 hingga 0.001 dikurangi 0.001m setiap analisisnya. Gaya yang digunakan adalah sebesar 10000 N. Berikut adalah hasil analisis dari Konvergensi model:

**Tabel III.7 Hasil Analisis Konvergensi.**

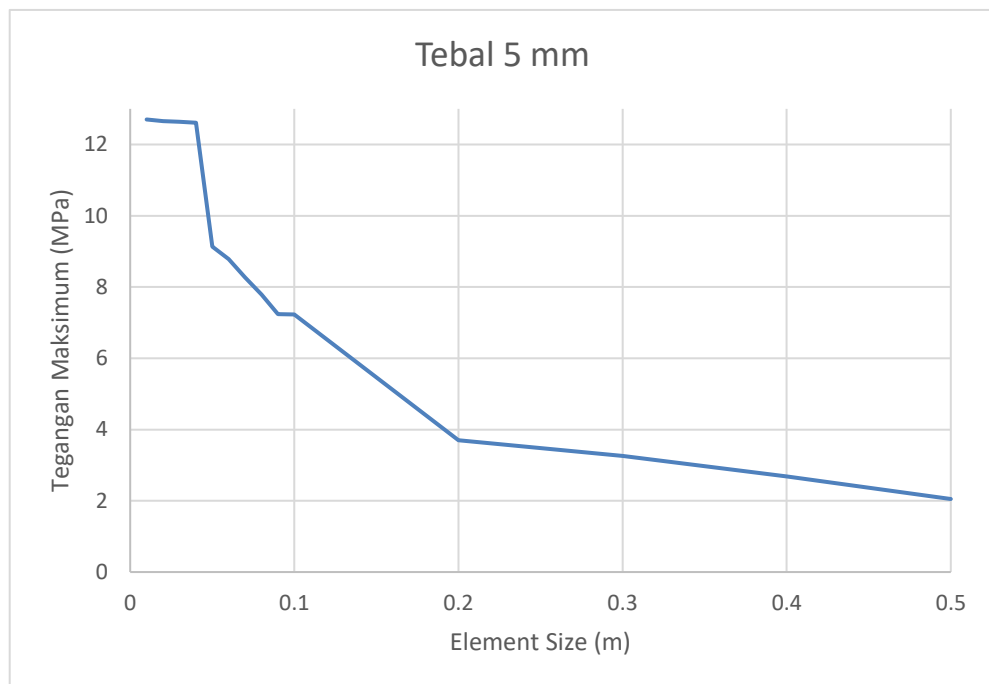
t = 7 mm		t = 6 mm		t = 5 mm	
Element Size (m)	Tegangan Maksimum (MPa)	Element Size (m)	Tegangan Maksimum (MPa)	Element Size (m)	Tegangan Maksimum (MPa)
0.5	1.1862	0.5	1.3624	0.5	2.0497
0.4	1.5151	0.4	1.8518	0.4	2.6877
0.3	1.7629	0.3	2.3897	0.3	3.2551
0.2	2.1361	0.2	2.9014	0.2	3.6988
0.1	5.2821	0.1	6.0121	0.1	7.2319
0.09	5.8559	0.09	6.5408	0.09	7.2379
0.08	6.3785	0.08	7.4131	0.08	7.7849
0.07	7.4039	0.07	7.9185	0.07	8.2719
0.06	8.1926	0.06	8.3525	0.06	8.7863
0.05	10.9234	0.05	11.7334	0.05	9.1341
0.04	11.0159	0.04	11.7496	0.04	12.6112
0.03	11.0676	0.03	11.7588	0.03	12.6367
0.02	11.0989	0.02	11.7619	0.02	12.6551
0.01	11.1023	0.01	11.7681	0.01	12.7022



**Gambar III.13 Grafik Konvergensi Tebal Pelat dan Profil 7 mm.**



**Gambar III.14 Grafik Konvergensi Tebal Pelat dan Profil 6 mm.**



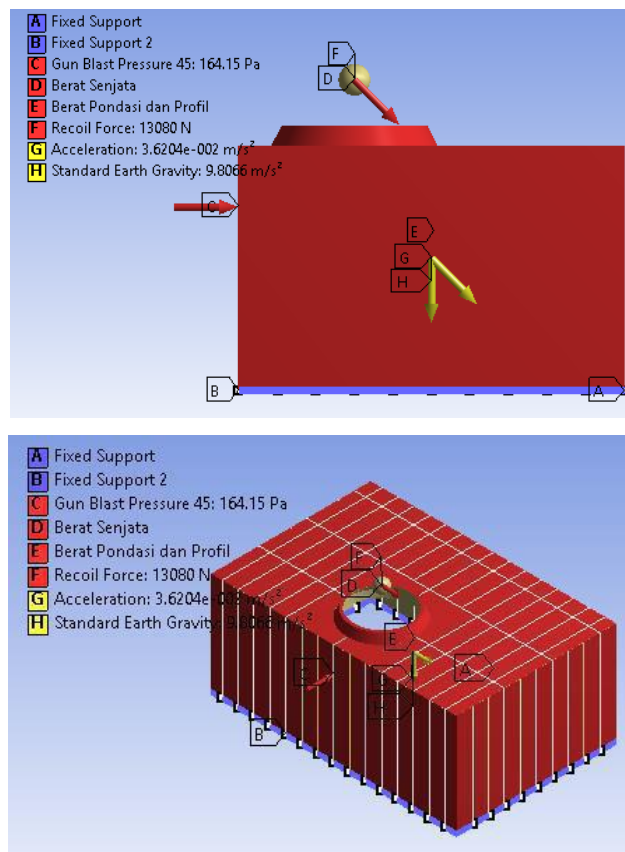
**Gambar III.15 Grafik Validasi Tebal Pelat dan Profil 5 mm.**

Hasil dari Tabel III.7 dan grafik Gambar III.14, Gambar III.15, dan Gambar III.16 di atas dapat disimpulkan bahwa model dapat digunakan dengan meshing paling tidak menggunakan *element size* sebesar 0.04 m.

Pengujian model dilakukan dengan memasukkan perhitungan gaya dan beban yang sebelumnya telah dihitung kedalam *software* FEM.

Properties of Outline Row 3: Grade D Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
9	Poisson's Ratio	0.29167			
10	Bulk Modulus	1.6E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.7419E+10	Pa		
12	Field Variables				
13	Temperature	Yes			
14	Shear Angle	No			
15	Degradation Factor	No			
16	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
20	Strain-Life Parameters				
28	Tensile Yield Strength	220	MPa		
29	Tensile Ultimate Strength	400	MPa		
30	Isotropic Thermal Conductivity	60.5	W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>		
31	Specific Heat	434	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>		
32	Isotropic Relative Permeability	10000			
33	Isotropic Resistivity	1.7E-07	ohm m		

**Gambar III.16 Material Grade D Steel Properties pada software**



**Gambar III.17 Gaya dan Berat yang bekerja**

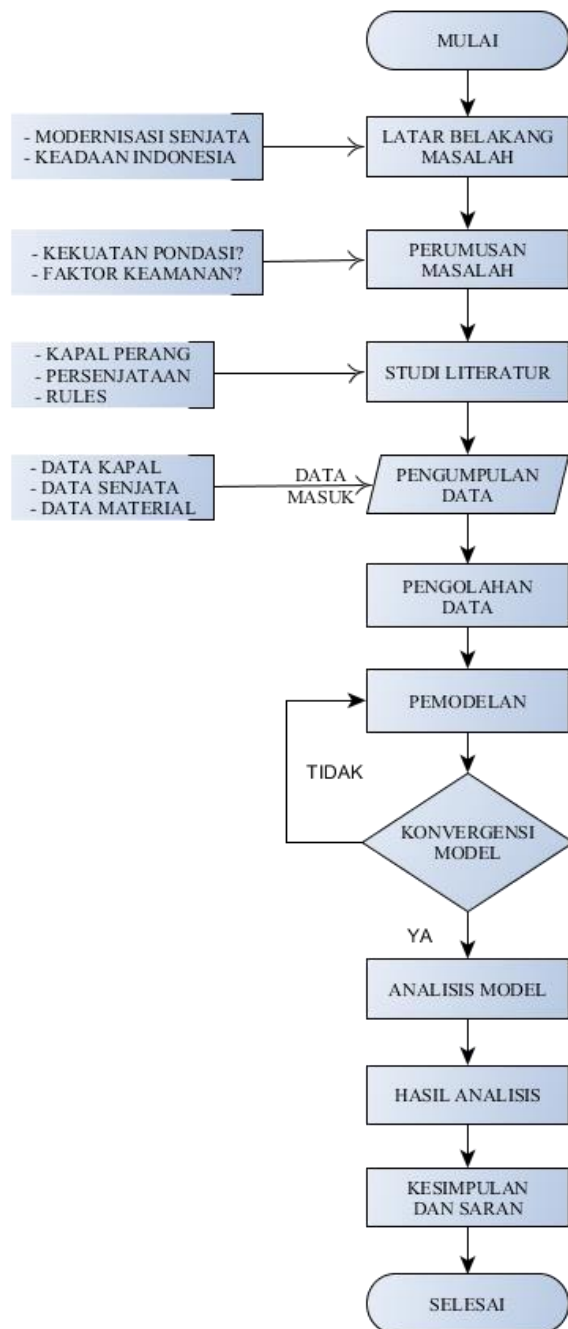
Gambar III.17 di atas adalah penggambaran atas gaya-gaya yang bekerja pada pondasi senjata pada saat pondasi senjata tersebut bekerja atau melakukan tembakan yang diasumsikan senjata menembak dengan kekuatan tembakan maksimum.

### III.4.6. Tahap Kesimpulan dan Saran

Tahap ini adalah berupa kesimpulan dari analisis-analisis yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, serta dikemukakan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian Tugas Akhir ini.

### III.5. Bagan Alir

Bagan alir pengerjaan ini menjelaskan tahap-tahap yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir. Proses yang dilakukan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar III.18 Bagan Alir

Halaman ini sengaja dikosongkan

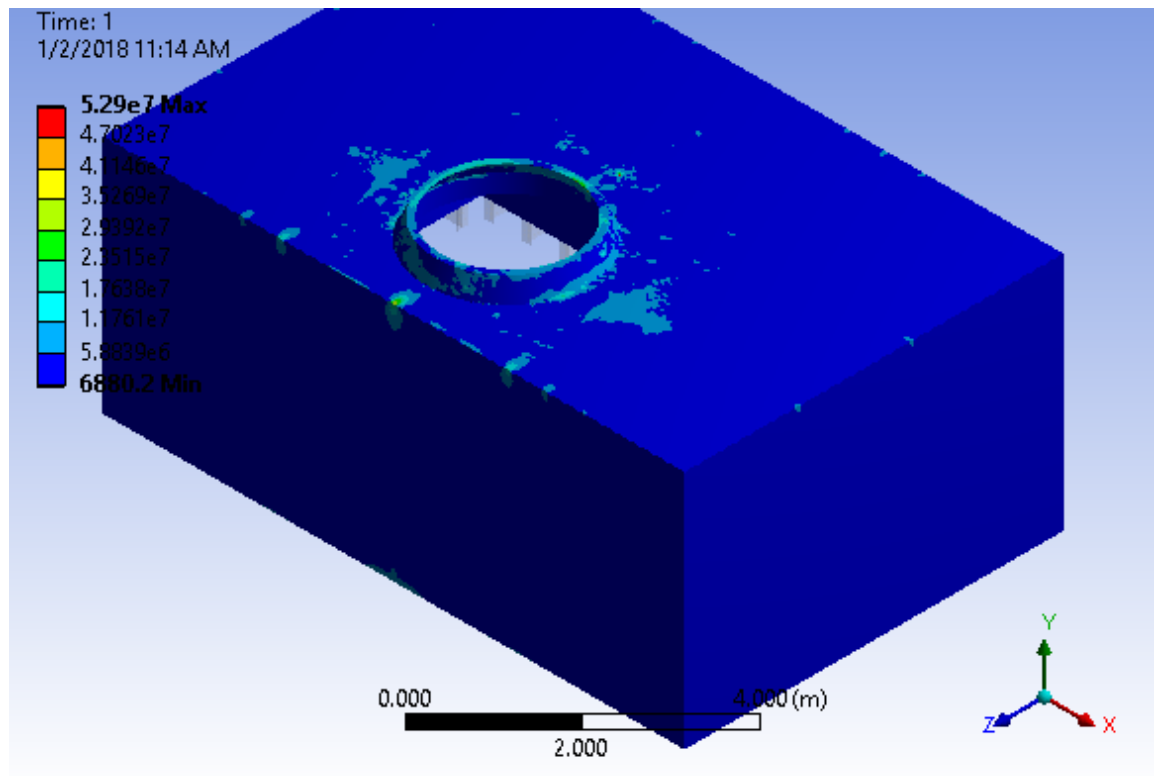


## BAB IV

### ANALISIS KEKUATAN PONDASI SENJATA

#### IV.1.1. Hasil Analisis Model

Setelah gaya dan beban dimasukkan kedalam *software* FEM, kemudian perhitungan dilakukan secara otomatis oleh *software*. Setelah selesai melakukan perhitungan secara otomatis, kita dapat melihat hasil analisis yang berupa tegangan maksimum atau *von mises stress* pada pondasi senjata tersebut. Hasil dari analisis pondasi senjata dapat dilihat pada Gambar IV.1.



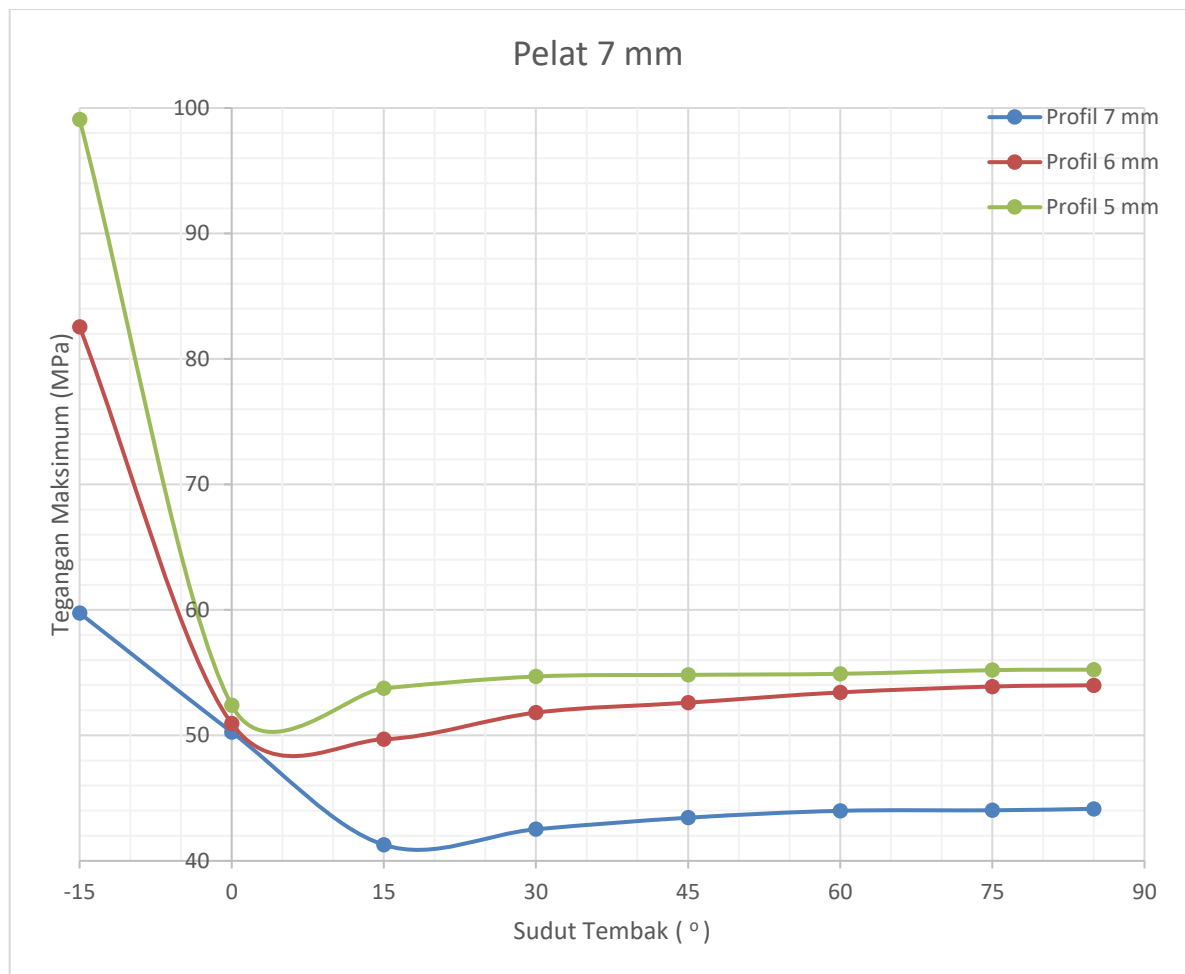
**Gambar IV.1 Hasil Analisis *von mises*.**

Hasil pengujian pada data awal dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi untuk sekali tembak pada saat *Maximum Rate of Fire* adalah sebesar:

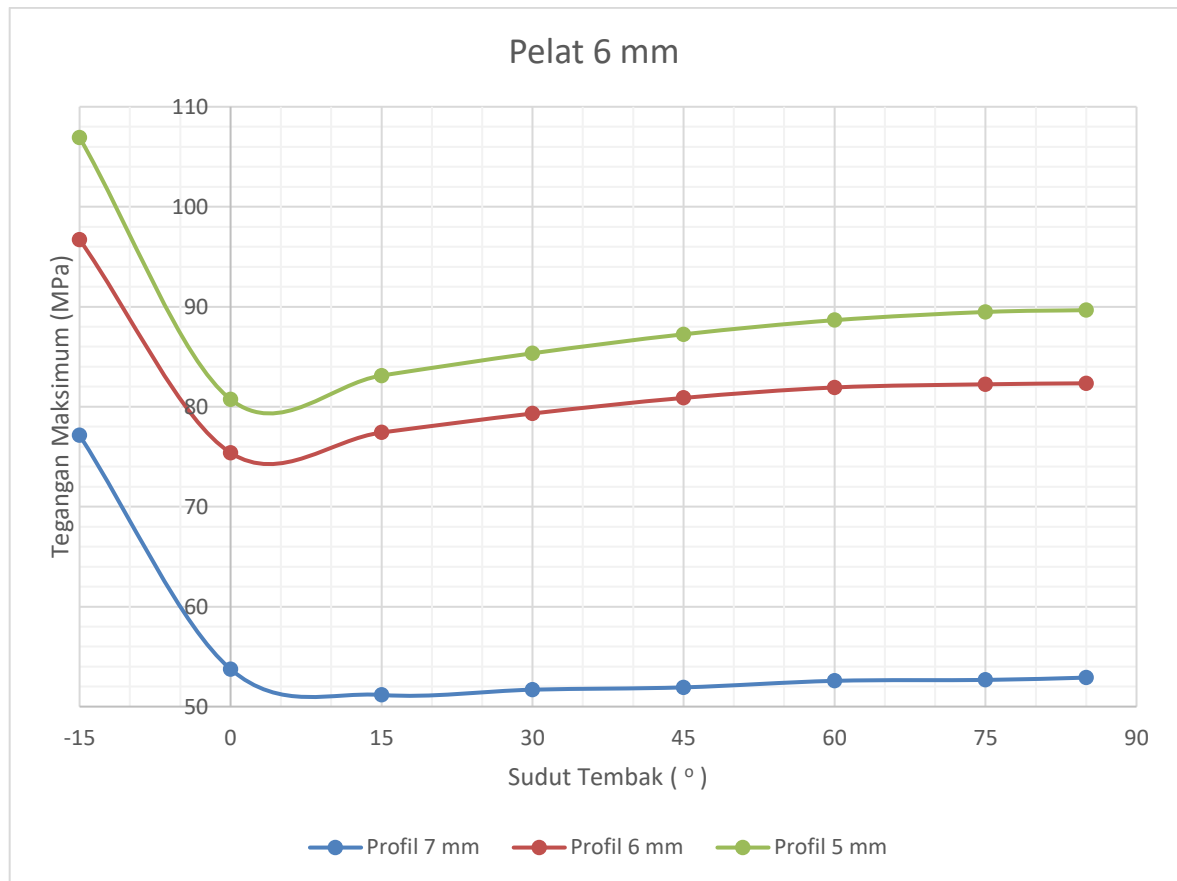
**Tabel IV.1 Hasil Analisis (MPa).**

Derajat	Pelat 7 mm			Pelat 6 mm			Pelat 5 mm		
	Profil 7 mm (MPa)	Profil 6 mm (MPa)	Profil 5 mm (MPa)	Profil 7 mm (MPa)	Profil 6 mm (MPa)	Profil 5 mm (MPa)	Profil 7 mm (MPa)	Profil 6 mm (MPa)	Profil 5 mm (MPa)
-15	59.752	82.565	99.095	77.136	96.711	106.92	99.137	108.24	114.89
0	50.264	50.945	53.75	53.75	77.418	83.116	79.581	90.393	103.83
15	41.281	49.692	52.41	51.17	75.391	80.737	77.832	87.891	100.24
30	42.519	51.815	54.695	51.695	79.32	85.345	81.326	92.529	109.33
45	43.438	52.604	54.821	51.923	80.879	87.242	81.351	94.584	110.45
60	43.989	53.426	54.906	52.579	81.925	88.656	82.066	96.32	110.91
75	44.029	53.894	55.199	52.669	82.239	89.475	82.325	97.549	111.21
85	44.146	53.995	55.239	52.9	82.341	89.657	83.933	98.137	111.55

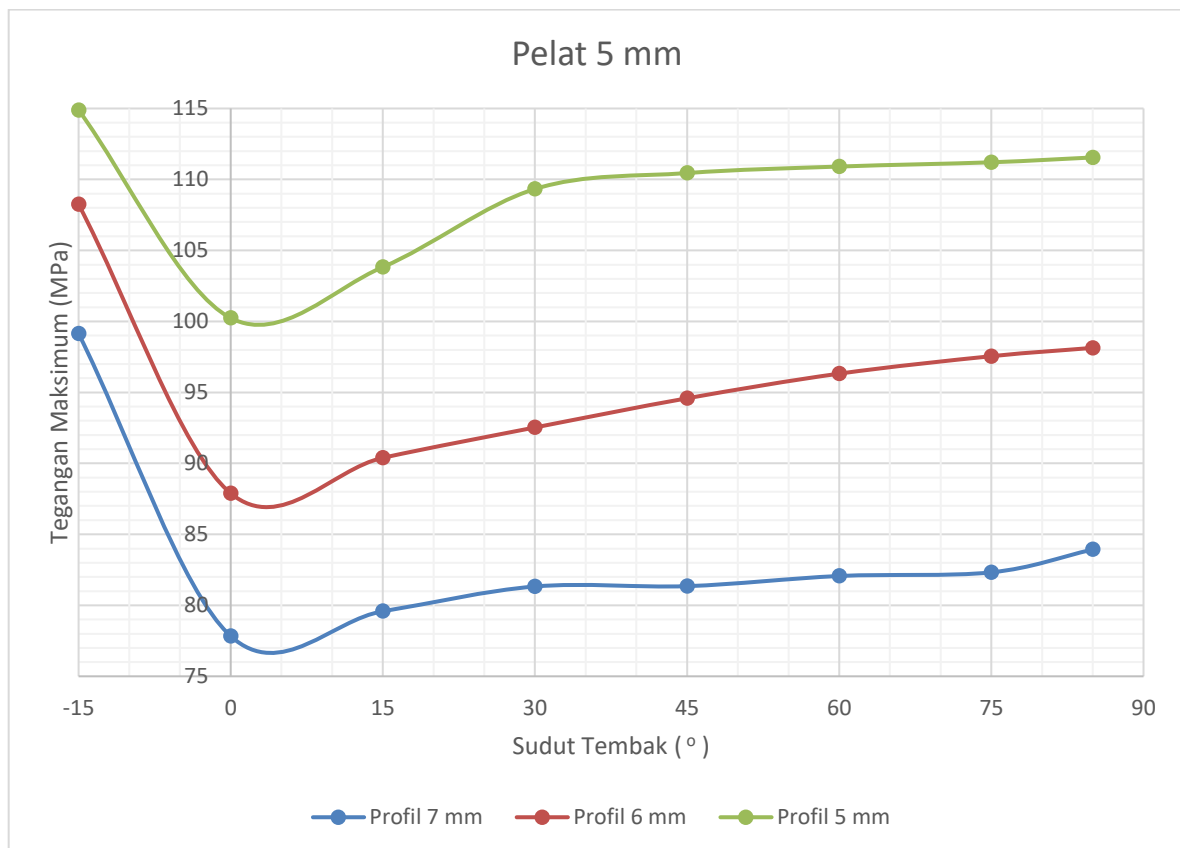
Hasil perhitungan pada Tabel IV.1, terlihat bahwa seluruh elemen yang ada pada pondasi seperti tebal, berat dan lainnya sangatlah penting karena sangat berpengaruh terhadap tegangan maksimum yang terjadi pada saat senjata ditembakkan. Pada penembakan  $-15^\circ$  memiliki *Maximum Stress* yang besar dikarenakan besarnya *Gun Blast Pressure* pada sudut penembakan tersebut sangat besar.



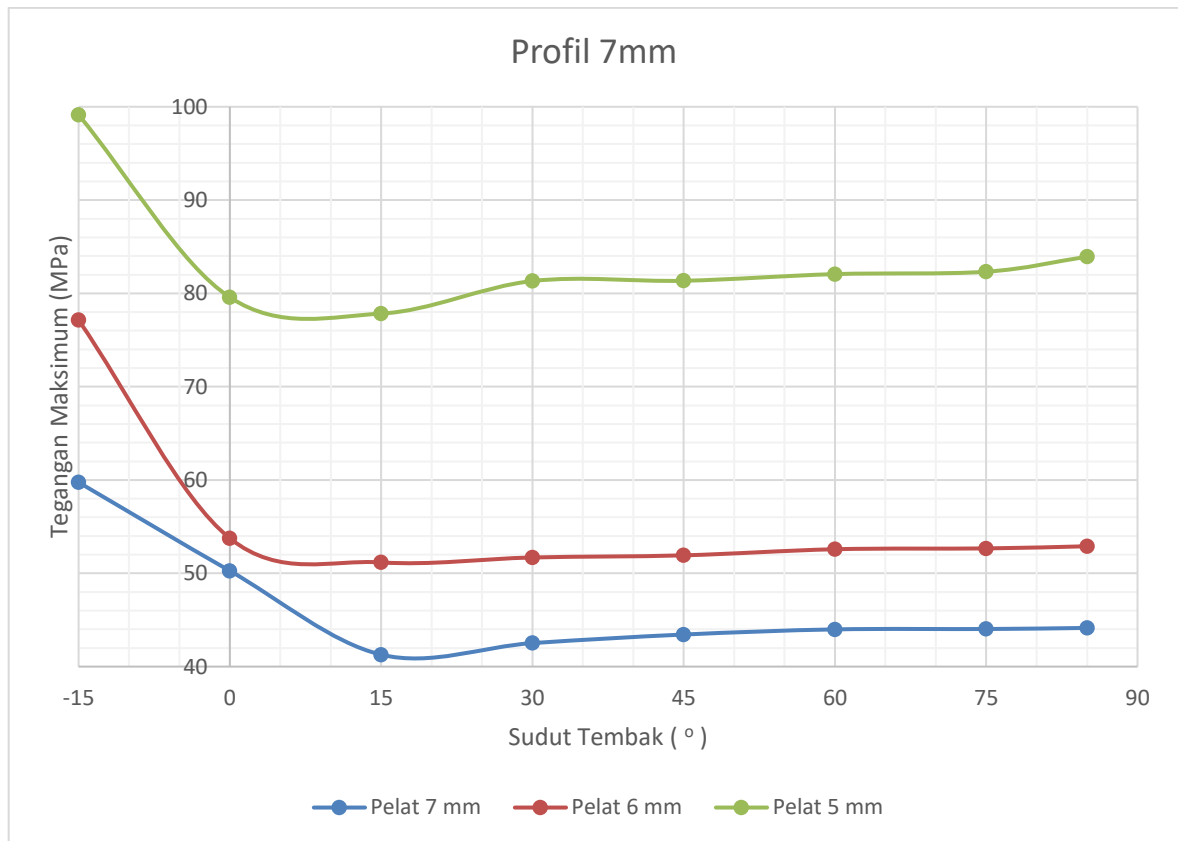
**Gambar IV.2 Grafik Pelat 7 mm**



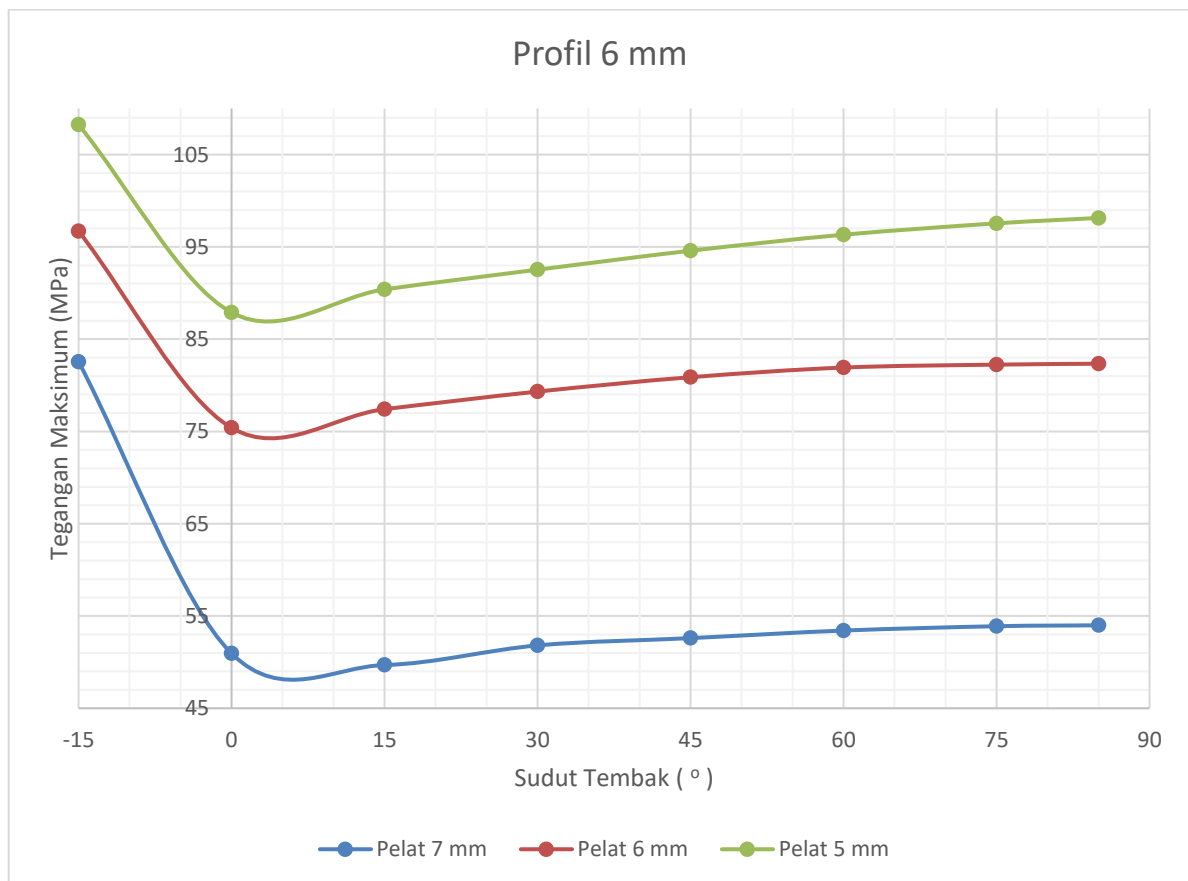
**Gambar IV.3 Grafik Pelat 6 mm**



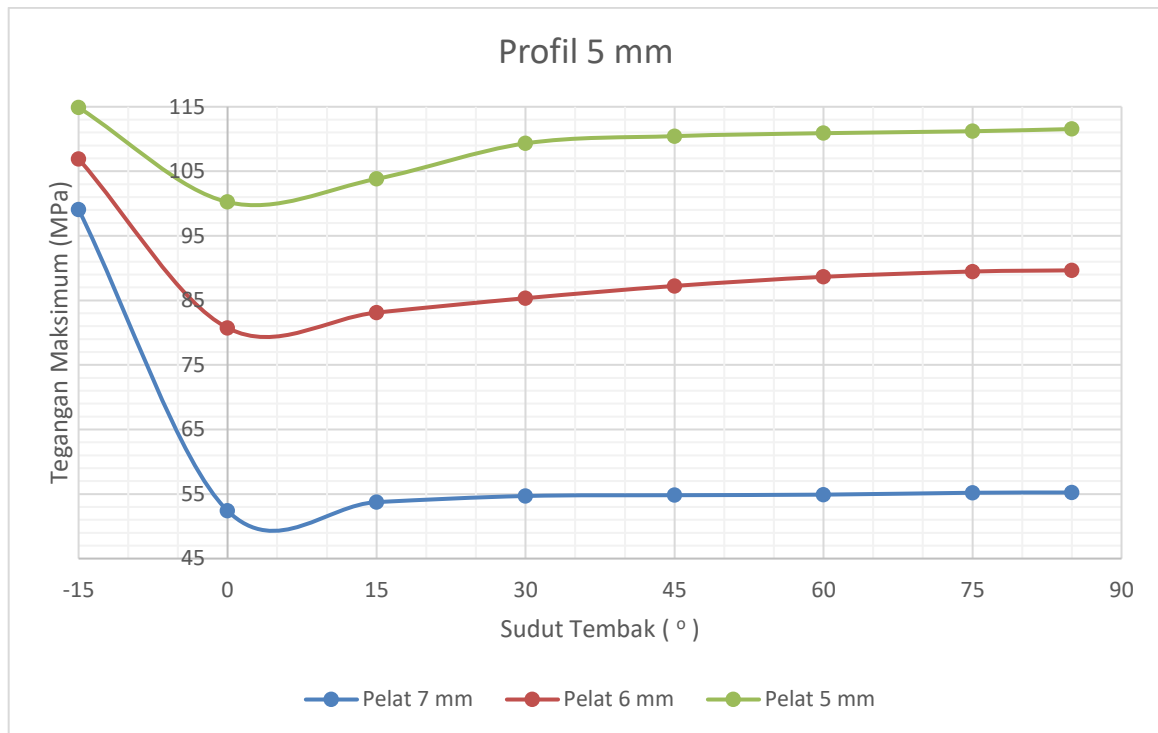
**Gambar IV.4 Grafik Pelat 5 mm**



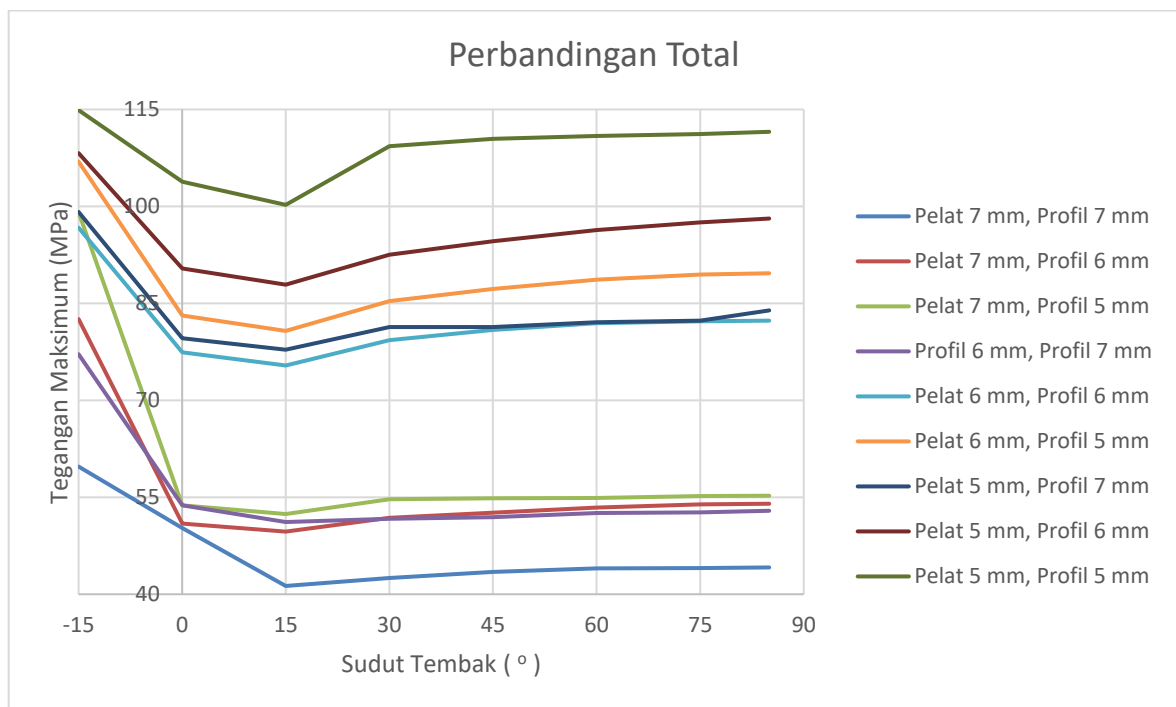
**Gambar IV.5 Grafik Profil 7 mm**



**Gambar IV.6 Grafik Profil 6 mm**



**Gambar IV.7 Grafik Profil 5 mm**



**Gambar IV.8 Grafik Total**

Gambar grafik di atas menunjukkan pada awal penembakan atau sudut tembak  $-15^\circ$  berada di puncak garis dikarenakan besarnya *gun blast pressure* yang terjadi pada saat penembakan. Faktor *gun blast pressure* menghasilkan daya ledak yang cukup besar dikarenakan jarak  $x$  atau jarak dari pusat ledakan hingga titik *pressure* yang dihitung ( $\frac{1}{2}$  tinggi pondasi senjata) sangatlah pendek, dengan jarak tersebut membuat tekanan pada pondasi senjata cukup besar.

## IV.2. Menghitung Faktor Keamanan Struktur Pondasi Senjata

Struktur pondasi senjata yang telah didesain haruslah aman pada saat penggunaan senjata di atas struktur pondasi senjata itu. Untuk itu struktur pondasi senjata tersebut harus dipastikan kembali agar penggunaannya aman. Untuk memastikan keamaannya terdapat kendala atau *constraint* yang perlu dipastikan, *constraint* tersebut adalah:

### IV.2.1. Von Mises Stress dan Maximum Allowable Stress

Besarnya tegangan maksimum (*von mises stress*) haruslah di bawah *maximum allowable stress*. Hal ini dilakukan untuk memastikan agar deformasi plastis pada pondasi senjata tidak terjadi. Besarnya *maximum allowable stress* ( $\sigma_{max}$ ) didapat dengan rumus (*Germanischer Lloyd, 2012*):

$$\sigma_{max} = 0.77 f_{pl} R_{eH}$$

dimana

$$f_{pl} = \frac{R_m}{1.5 R_{eH}}$$

Diketahui:

$$R_m = 400 \text{ MPa}; \quad R_{eH} = 235 \text{ MPa}$$

**Tabel IV.2 Tabel VonMises Stress**

Profil, Tebal (mm)		Tegangan Maksimum (MPa)
Pelat 7 mm	Profil 7 mm	59.752
	Profil 6 mm	82.565
	Profil 5 mm	99.095
Pelat 6 mm	Profil 7 mm	77.136
	Profil 6 mm	96.711
	Profil 5 mm	106.920
Pelat 5 mm	Profil 7 mm	99.137
	Profil 6 mm	108.240
	Profil 5 mm	114.890

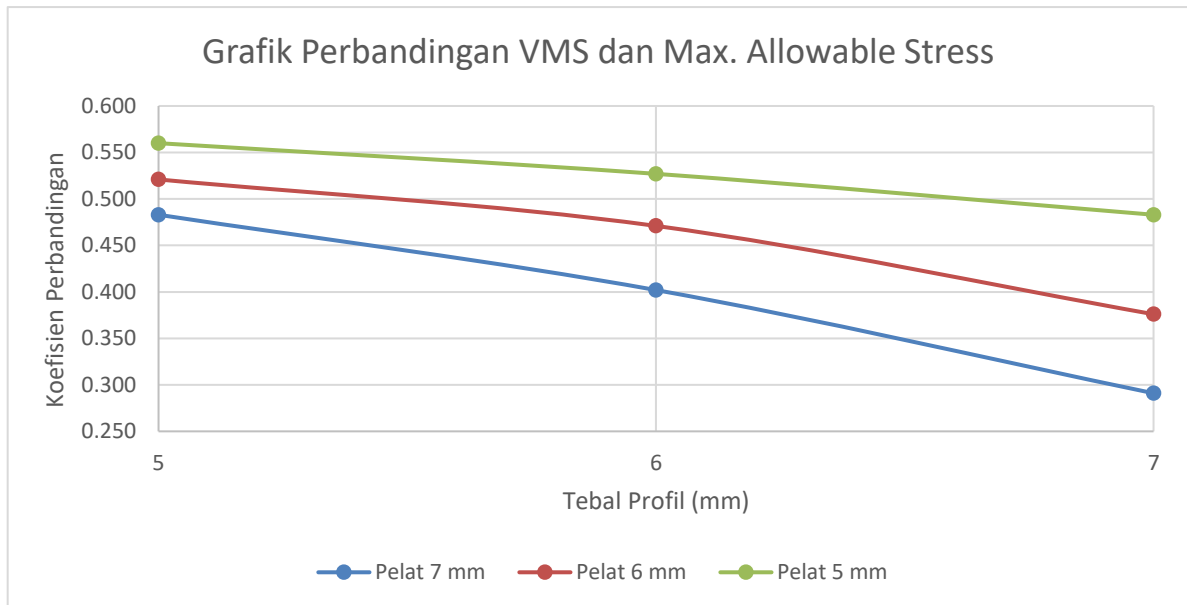
Dengan begitu:

$$f_{pl} = (400)/(1.5 \times 230) = 1.159$$

$$\sigma_{max} = 0.77 \times 1.159 \times 235 = 205.259 \text{ MPa}$$

**Tabel IV.3** Tabel Hasil perbandingan *von mises* dan *allowable stress*.

Struktur Pondasi Senjata		VonMises Stress (MPa)	$\sigma_{max}$ (MPa)	$\frac{\sigma_{max}}{\text{Von Mises Stress}} < 1$	Remarks
Pelat 7 mm	Profil 7 mm	59.752	205.259	0.291	Diterima
	Profil 6 mm	82.565		0.402	Diterima
	Profil 5 mm	99.095		0.483	Diterima
Pelat 6 mm	Profil 7 mm	77.136		0.376	Diterima
	Profil 6 mm	96.711		0.471	Diterima
	Profil 5 mm	106.920		0.521	Diterima
Pelat 5 mm	Profil 7 mm	99.137		0.483	Diterima
	Profil 6 mm	108.240		0.527	Diterima
	Profil 5 mm	114.890		0.560	Diterima



**Gambar IV.9** Grafik perbandingan

Hasil dari perhitungan pada Tabel IV.3 dan grafik Gambar IV.9 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran tebal dari struktur pondasi maka perbandingan antara tegangan *von mises* dan tegangan izin menjadi semakin besar dan untuk pengurangan kekuatan struktur pondasi yang terjadi paling besar adalah 0.12 atau 12% dan yang paling kecil adalah 0.05 atau 5%.



#### IV.2.2. Von Mises Stress dan Endurance Limit

Besarnya tegangan maksimum (*von mises stress*) tidak boleh melebihi batas ketahanan material (*Endurance Limit*). Perhitungan ini dilakukan untuk memastikan bahwa struktur pondasi tidak terjadi kegagalan dari titik kelelahan material. Besarnya *Endurance Limit* adalah setengah dari  $R_m$  atau *ultimate strength*: (Budynas, 2008)

$$Endurance\ Limit = \frac{1}{2} \times R_m$$

dimana:

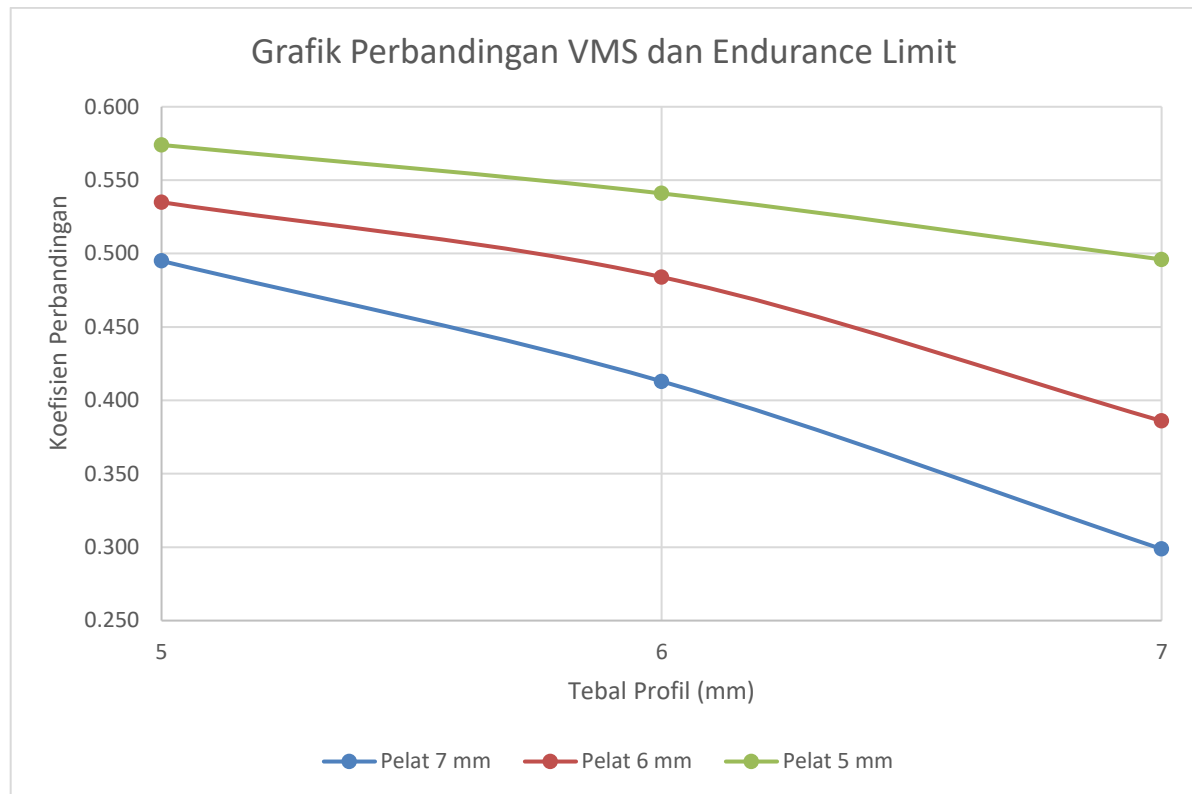
$$R_m = \text{Ultimate Tensile Strength} = 400\text{ MPa}$$

Dengan begitu:

$$Endurance\ Limit = \frac{1}{2} \times 400\text{ MPa} = 200\text{ MPa}$$

**Tabel IV.4 Perbandingan *von mises stress* dan *endurance limit*.**

Struktur Pondasi Senjata		VMS (MPa)	Endurance Limit (MPa)	$\frac{Endurance\ Limit}{Von\ Mises\ Stress} < 1$	Remarks
Pelat 7 mm	Profil 7 mm	59.752	200	0.299	Diterima
	Profil 6 mm	82.565		0.413	Diterima
	Profil 5 mm	99.095		0.495	Diterima
Pelat 6 mm	Profil 7 mm	77.136		0.386	Diterima
	Profil 6 mm	96.711		0.484	Diterima
	Profil 5 mm	106.920		0.535	Diterima
Pelat 5 mm	Profil 7 mm	99.137		0.496	Diterima
	Profil 6 mm	108.240		0.541	Diterima
	Profil 5 mm	114.890		0.574	Diterima



**Gambar IV.10 Grafik perbandingan**

Hasil dari perhitungan pada Tabel IV.4 dan grafik Gambar IV.10 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran tebal dari struktur pondasi maka perbandingan antara tegangan *von mises* dan *endurance limit* menjadi semakin besar dan untuk pengurangan kekuatan struktur pondasi yang terjadi paling besar adalah 0.1 atau 10% dan yang paling kecil adalah 0.05 atau 5%.

#### IV.2.3. *Safety Factor*

Faktor Keamanan adalah rasio perbandingan kekuatan dari material dan tegangan maksimum yang terjadi pada suatu struktur.

$$\frac{Strength}{StressMax} \ll 1$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya perbandingan dari kekuatan dan tegangan maksimum yang terjadi haruslah lebih besar dari sama dengan 1 dan apabila besarnya tegangan maksimum lebih besar dari sama dengan kekuatan material maka struktur tersebut mengalami kegagalan. (Cyprien, 2016)

Perbandingan besarnya kriteria bahan ( $R_{eH}$ ) dengan tegangan maksimum (*von mises stress*) haruslah di atas 1. Hal ini dilakukan untuk mengecek apakah struktur pondasi senjata

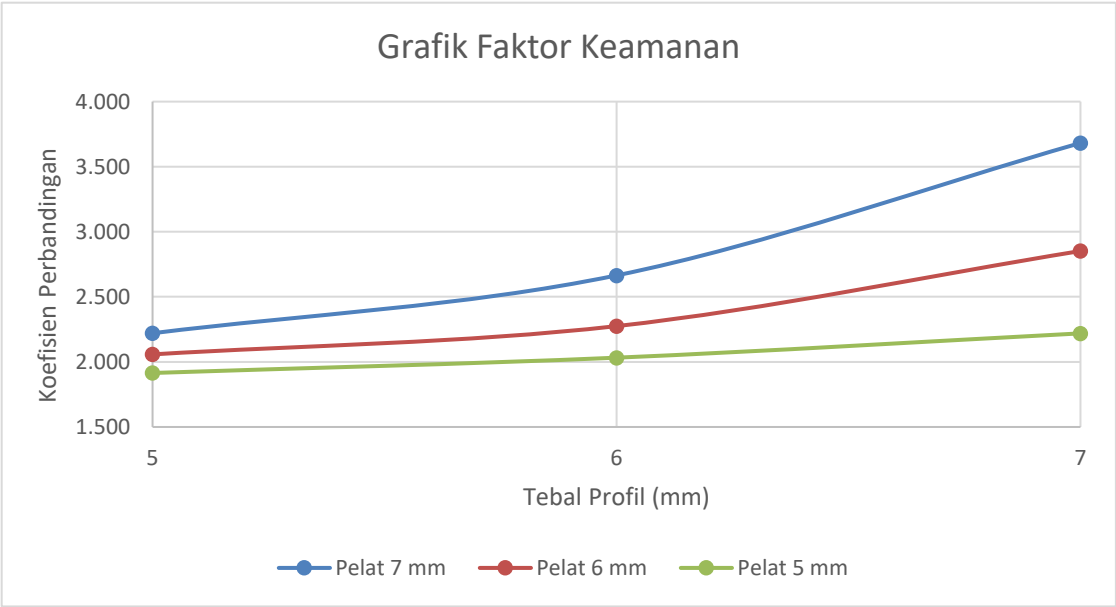
memiliki faktor keamanan dan keselamatan yang baik atau tidak. Perhitungan *safety factor* dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Cyprien, 2016):

$$Factor\ of\ Safety = \frac{Yield\ Strength}{Von\ Mises\ Stress}$$

Dengan begitu:

Tabel IV.5 Faktor Keamanan

Struktur Pondasi Senjata		VMS (MPa)	Yield Strength (MPa)	Safety Factor
Pelat 7 mm	Profil 7 mm	59.752	235	3.682
	Profil 6 mm	82.565		2.665
	Profil 5 mm	99.095		2.220
Pelat 6 mm	Profil 7 mm	77.136		2.852
	Profil 6 mm	96.711		2.275
	Profil 5 mm	106.920		2.058
Pelat 5 mm	Profil 7 mm	99.137		2.219
	Profil 6 mm	108.240		2.033
	Profil 5 mm	114.890		1.915



Gambar IV.11 Grafik Faktor Keamanan

Hasil dari perhitungan pada Tabel IV.5 dan grafik Gambar IV.12 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran tebal dari struktur pondasi maka perbandingan antara tegangan *von mises* dan *Yield Strength* yang menghasilkan Faktor Keamanan semakin kecil dan untuk pengurangan struktur pondasi senjata paling besar adalah 1.2 atau 40% dan yang paling kecil adalah 0.1 atau 3%.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah struktur pondasi dengan asumsi penggunaan material *Grade D Steel* dan asumsi penggunaan senjata adalah OTO Melara 76 mm Super Rapid pada ketebalan awal yaitu 7 mm dan ketebalan variasi 6 mm dan 5 mm didapatkan hasil:

1. Struktur pondasi senjata tidak mengalami deformasi plastis pada saat deformasi maksimum terjadi dan kekuatan struktur pondasi mengalami penurunan sebesar kurang lebih 0.05 – 0.12 atau 5% – 12%.
2. Struktur pondasi senjata masih memiliki faktor keamanan lebih dari 1 dan kekuatan struktur pondasi mengalami penurunan faktor keamanan kurang lebih 0.1 – 1.2 atau 3% – 40%.

Struktur pondasi sudah memiliki tiga faktor *design constrain* atau kendala desain dalam segi perhitungan statis dengan penambahan percepatan pada perhitungannya. Perhitungan dari keseluruhan variasi model mengalami pengurangan kekuatan struktur yang terjadi akibat pengurangan tebal pada pelat dan profil pada pondasi senjata sebesar kurang lebih 4% - 26%

#### **V.2. Saran**

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan pembebanan akibat *hogging* dan *sagging* yang terjadi pada kapal akibat efek tarikan dan tekanan yang terjadi pada pondasi senjata pada saat kapal berlayar dan penambahan pembebanan dinamis pada saat penggunaan seluruh peluru yang ditembakkan habis dalam beroperasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- A. de Vaucorbeil & K.E. Patron. (2017). Guedes Soares & Garbatov (Ed.). *Progress in the analysis and design of marine structures (Optimization of the gun foundation structure of an offshore patrol vessel using a modern genetic algorithm*, 131-137). London: Taylor & Francis Group.
- Budynas, R. G. et al. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. . McGraw-Hill.
- Cyprien. (2016). *Safety factor: How do I calculate that?* Retrieved August 12, 2017, from Fearforall: <http://feaforall.com/calculate-safety-factor/>
- Defence Blog. (2014). *South Korea's Samsung Techwin Sole Bidder for 8 Amphibious Assault Vehicles*. Retrieved May 20, 2017, from Defence Blog - One Military Magazine: <http://defence-blog.com/news/south-koreas-samsung-techwin-sole-bidder-for-8-amphibious-assault-vehicles.html>
- DIEHL. (2009). *Cartridges 76mm x 636 for all Types of OTO Melara Guns 76mm L/62*. Retrieved July 20, 2017, from DIEHL: [http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user\\_upload/flyer/Cartridges\\_76\\_mm\\_0809.pdf](http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/Cartridges_76_mm_0809.pdf)
- Furuno. (2010). *Chart Radar (FAR-3000)*. Retrieved May 12, 2017, from Furuno: <http://www.furuno.com/en/merchant/chartradar/>
- Germanischer Lloyd. (2012). *Rules for Classification and Construction: Hull Structures and Ship Equipment ( Surface Ships )*. Germanischer Lloyd.
- Infometrik. (2009). *Infometrik*. Retrieved June 16, 2017, from Infometrik: <http://www.infometrik.com/2009/07/konsep-dasar-finite-element-method/>
- Keenan, M. (2017). *How Do You Calculate Recoil Velocity?* Retrieved August 15, 2017, from sciencing: <https://sciencing.com/do-calculate-recoil-velocity-6592101.html>
- Kia. (2014). *KM250 Cargo Truck*. Retrieved May 02, 2017, from Kia - Military: <https://military.kia.com/en/kia/vehicles/km25-series/km250-cargo-truck.do#.WIH7eVT1UWp>
- Laude, J. (2010). *Defense contract review for multi-role vehicle purchase done in 1 month. Philippine Navy , 05 - 06*. Retrieved May 4, 2017, from NavyToday, Philippine Navy in the News: <http://web.archive.org/web/20130608005119/http://www.philstar.com/headlines/2013/05/25/946102/dnd-procure-2-naval-vessels>

- Laude, J. (2013). *DND to pm,rocure 2 naval vessels. Philippine Navy*. Retrieved May 4, 2017, from Philstar:  
<https://web.archive.org/web/20130608005119/http://www.philstar.com/headlines/2013/05/25/946102/dnd-procure-2-naval-vessels>
- LeonardoCompany. (2016). *76-62 sr rev 2013.FH10*. Retrieved August 24, 2017, from leonardocompany:  
[http://www.leonardocompany.com/documents/63265270/67176536/body\\_76\\_62\\_sr\\_rev\\_2013\\_1.pdf](http://www.leonardocompany.com/documents/63265270/67176536/body_76_62_sr_rev_2013_1.pdf)
- Lloyd's Register. (2015). *Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships*. Lloyd's Register Group Limited.
- N.R.P. (2016). *Analysis : Importance Of Naval Guns On A Modern Warship*. Retrieved May 12, 2017, from Defencyclopedia: <https://defencyclopedia.com/2016/05/02/analysis-importance-of-naval-guns-on-a-modern-warship/>
- Navsource. (2013). *Machine Gun Battery*. Retrieved May 11, 2017, from NavSource Online:  
<http://www.navsource.org/archives/01/57y.htm>
- Navsource. (2014). *Guns-Types, Classes & Component Parts*. Retrieved May 11, 2017, from NavSource Online: <http://www.navsource.org/archives/01/57t1.htm>
- Navweaps. (2013). *76 mm/62 (3") Compact, SR*. Retrieved July 12, 2017, from NavWeaps:  
[http://www.navweaps.com/Weapons/WNUS\\_3-62\\_mk75.php](http://www.navweaps.com/Weapons/WNUS_3-62_mk75.php)
- Navweaps. (2016). *Definitions and Information about Naval Guns*. Retrieved May 12, 2017, from NavWeaps: [http://www.navweaps.com/Weapons/Gun\\_Data.php](http://www.navweaps.com/Weapons/Gun_Data.php)
- Navy, P. (2016). *Philippine Navy*. Retrieved May 16, 2017, from Philippine Navy:  
<https://www.facebook.com/philippinenavy/photos/a.10150348212492956.356586.190479452955/10153741900397956/?type=3&theater>
- Office, N. P. (2009). Philippine Navy. *Navy Journal Year end Edition 2009* , 14.
- R. Germershausen. (1982). Rheinmetall GmbH (Ed.). *Handbook on Weaponry* (Chapter 9). Duesseldorf.
- Rahmat, R. (2015). *PT PAL outlines weapons fit for Philippine Navy SSVs*. Retrieved May 15, 2017, from IHS Jane's: <http://www.janes.com/article/53644/pt-pal-outlines-weapons-fit-for-philippine-navy-ssvs>
- Sasa Drobac. (2008). diStefan 3Dprint. *1/35 DKM 12.7cm (5in) SK/C34 Naval Gun Shield*. Retrieved May 16, 2017, from Shapeways:  
<https://www.shapeways.com/product/2DCL3MMUS/1-35-dkm-12-7cm-5in-sk-c34-naval-gun-shield>
- Seaforces Online. (2011). *Oto-Melara / Oto-Breda 76/62 Compact - 76/62 Super Rapid*. Retrieved May 16, 2017, from Seaforces:  
<http://www.seaforces.org/wpnsys/SURFACE/Oto-Melara-76mm-compact-super-rapid.htm>

Steelspecs. (2011). LR GRADE D, LR/ D, LR GRADE D, LR Grade D. Retrieved July 11, 2017, from Steelspecs: <http://www.steelspecs.com/LR-DH36/LR-D-LR-Grade-D.html>

Wikipedia. (2012). *Augusta Westland*. Retrieved May 20, 2017, from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland\\_AW109](https://en.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland_AW109)

Wikipedia. (2012). *Wasrts*. Retrieved May 22, 2017, from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rigid-hulled\\_inflatable\\_boat#/media/File:Rigid\\_Hulled\\_Inflatable\\_Boat\\_with\\_view\\_of\\_hull\\_assembly.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Rigid-hulled_inflatable_boat#/media/File:Rigid_Hulled_Inflatable_Boat_with_view_of_hull_assembly.JPG)

Wikipedia. (2016). *BRP Tarlac underway in Manila Bay*. Retrieved May 03, 2017, from Wikipedia: [https://scontent.fceb2-2.fna.fbcdn.net/t31.0-8/13220674\\_10153743805317956\\_2663803015969074818\\_o.jpg](https://scontent.fceb2-2.fna.fbcdn.net/t31.0-8/13220674_10153743805317956_2663803015969074818_o.jpg)

Wikipedia. (2016). *Leonardo S.p.A* . Retrieved May 03, 2017, from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_S.p.A.](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_S.p.A.)



## **LAMPIRAN**

Lampiran A Katalog OTO Melara SR dan Peluru  
Lampiran B Hasil Pengujian

**LAMPIRAN A**  
**KATALOG OTO MELARA SR DAN PELURU**

**Cartridges 76mm x 636  
for all Types of OTO Melara  
Guns 76mm L/62**



## General

Diehl developed a complete programme of cartridges 76mm x 636 for all types of the OTO Melara/OTO BREDA 76mm L/62 naval guns. All cartridges are characterized by an identical trajectory, the exterior ballistics completely fulfill the standards which have been agreed within the O.M.C.G. user committee.

Based on the components cartridge case DM30 and Primer DM231 A1, there is a variety of rounds such as TP, Spotter, HE and HE-PFF. Besides the fuzes mentioned in this brochure, other fuzes may be used after adaption according to customer request.

The cartridges 76mm x 636 meet the environmental and safety requirements according to the applicable NATO specifications.

Type 248  
TP-S



Type 251  
HE-PD



DM261A2  
HE-PFF



# 76mm

## Weapon Systems

### **76/62 MM**

Gun Mount (60rds/min)

### **76/62 C**

Compact Gun Mount  
(80 rds/min)

### **76/62 100**

Rapid Gun Mount  
(100 rds/min)

### **76/62 SR**

Super Rapid Gun Mount  
(120 rds/min)

### **76/62 AD**

Above-Deck Gun Mount

## Our major Navy Customers

**First production in 1976.**

**So far more than 300,000 rds.  
sold to customers of:**

### **NATO**

Canada, Denmark, Germany, Greece,  
The Netherlands, France, Turkey, Poland

### **Non-NATO**

Australia, Colombia, Ecuador, Ireland,  
Qatar, Thailand, Oman



# 76mm

## Basic Data

### Gas pressure:

Max. 3,600 bar (+21°C)

### Muzzle Velocity:

915 m/s (+21°C); adjustments to customer requirements possible

### Length of Cartridge:

approx. 910mm

### Weight of Cartridge:

12.5 kg

### Weight of Propellant:

approx. 2.35 kg

### Weight of Projectile:

6.3 kg

### Storage Temperature:

-54°C up to +71°C (for TP)

### Operating Temperature:

-35°C up to +52°C (for TP)

The same interior and exterior ballistics are applicable as compared to the Italian original ammunition. Furthermore, the ballistic properties of all 76mm naval ammunition types of Diehl comply with the NATO Standard Range Table, to the full extent. No additional measures are required beyond the necessary corrections (carried out as an adjustment to actual weather, propellant temp. data etc.).

## 76mm x 636 Rounds

### Target Practice

-TP • DM248  
-TP-T • DM258  
-TP-S • 248, 248 Mod.

### High Explosive

-HE-PD • 251  
-HE-VT • 261  
-HE-PFF • DM261A2

### Clearing Charge

• DM11

### Dummy (Drill) Round



**Target Practice  
(TP)  
DM248**

Successor model of  
DM238

**Target Practice  
Tracer (TP-T)  
DM258**

Successor model of  
DM228 A3



**248 Target Practice-  
Spotter (TP-S)  
and 248 Mod.  
(for fuze MK417)**

Main characteristics:

- 100 g Hexal as spotting charge  
(allows visual observation of  
correct fuze functioning)
- Inert filling (iron foam)
- Fuzes: all types of proximity fuzes



**Dummy (Drill)  
Round**

- No explosive components
- Exact copy of the live round
- Identical handling characteristics

# 76mm



## HE Projectile 261 (HE-VT)

- Especially suited to engagement of air targets
- Composition B: about 510 g
- Proximity Fuze: M5983A3 or equivalent



## HE Projectile 251 (HE-PD)

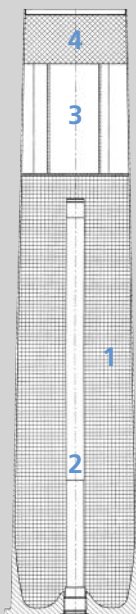
- Mainly for ship and surface targets
- Composition B: 660 g
- Fuze: MK 407 or equivalent



## HE Projectile Pre-Formed Fragments DM261A2 (HE-PFF)

### Main Characteristics:

- Mainly for air targets
- Pre-formed fragments (heavy metal balls, approx. 2,200 ea., diameter: 4mm)
- Composition B: 580 g
- Fuze: M5983A3 or equivalent



## Clearing Charge 76mm x 500 DM11

- 1 Propellant
- 2 Primer
- 3 Spacer
- 4 Plug



# 76mm



## Packaging

### Standard packaging components:

- Ammunition Box
- Foam insert, top and bottom
- Aluminium covered bag
- Top

### Standard Packaging

2 cartridges packed in 1 preformed inner packaging (material: EPS),  
1 inner packaging sealed in aluminium covered bag, 1 bag packed in 1 wooden box

Alternatively, Diehl BGT Defence will deliver the goods in packaging according to customer requirements





# OTO Melara

A Finmeccanica Company

Naval Systems

Medium Calibres

**76/62 SR**



## **76/62 SUPER RAPID GUN MOUNTING 120 rds/min LIGHT WEIGHT NAVAL GUN MOUNT with ADVANCED COMMAND & CONTROL CONSOLE**

The 76/62 Super Rapid (SR) Gun Mount is a light weight, rapid-fire naval gun providing unrivalled performance and flexibility in any air defence and anti surface role, particularly in anti-missile role. Capability for very effective engagement of shore based targets is also provided for unique multi-role performance.

The 76/62 SR is suitable for installation on ships of any type and class, including small naval units. Interface to a large variety of ship's Combat Management System and/or FCS/EOS is provided, according to digital as well as analogical standard, including open architecture.

The Firing rate can be selected from single shot to firing 120 rds/min.

In operational condition the tactical time is less than 3 seconds and the standard deviation at firing is less than 0.3 mrad, thus providing excellent accuracy.

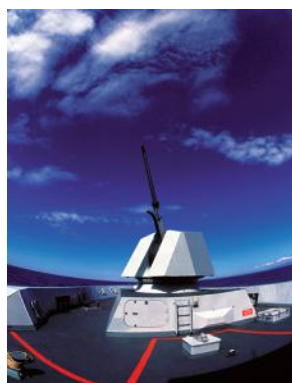
The 76/62 SR (together with the 76/62 Compact) is the only medium caliber naval gun available in the capable of sustained fire, which is a fundamental requirement in any scenario involving the simultaneous engagement of multiple maneuvering target, as requested by the emerging asymmetric warfare scenarios.

Automatic loading is provided through a revolving magazine and rapid reloading is easily undertaken even during firing action by two ammunition handlers.

Standard supply includes the new Digital Control Console (DCC) capitalizing the digital technology to increase the functions available to the operator and to the maintainers.

The 76/62 SR is ready for operating the OTO Melara 3AP Multifunction Programmable Fuse. The in service and new 76/62 SR, have the necessary flexibility for being fitted with optional:

- Integral Stealth Shield to reduce the total RCS of the ship
- Muzzle Velocity Radar to update the FCS of eventual deviations from range table values
- Multi Feeding Device for the automatic handling, selection and feeding of any type of ammunition loaded
- STRALES system – a guidance system for the DART guided projectile.



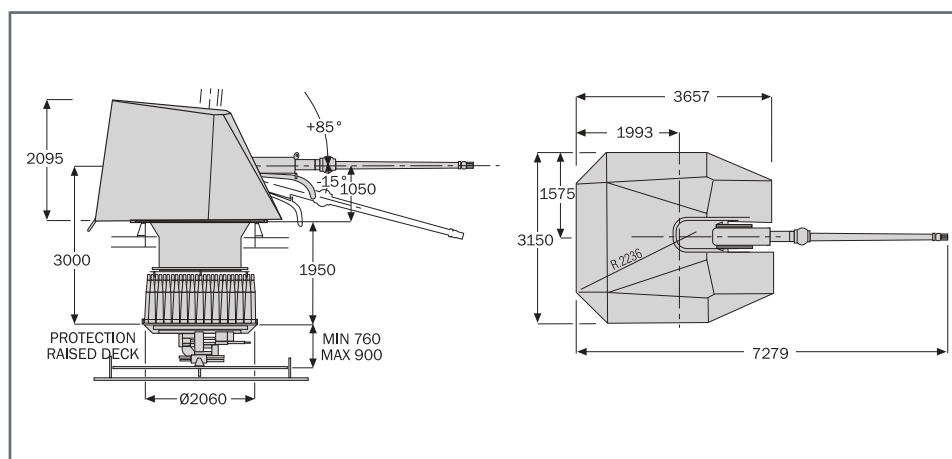
The Gun Mount capabilities included of a New Main Distribution Box/Control Console, which provides:

**Basic functions:**

- Gun Control algorithms/obstacle contouring
- BITE on line
- FCS Interfaces (digital, analogical, CORBA protocol etc.)
- Control Panel Interfaces/Man Machine Interface

**Expanded functions:**

- Maintenance
- Troubleshooting
- Documentation on line (Manuals on line and PMS)
- Log Book (for management support)
- Guideline
- Black Box



**76/62 SUPER RAPID GUN MOUNTING**  
**120 rds/min LIGHT WEIGHT NAVAL GUN MOUNT**  
**with ADVANCED COMMAND & CONTROL CONSOLE**

<b>Rate of fire</b>	120 rds/min
<b>Dry Weight (without ammunition)</b>	7900 kg
<b>Training arc (with slip ring)</b>	unlimited
<b>Elevation arc</b>	-15° / +85°
<b>Training speed/acceleration max</b>	60°/sec (72°/sec <sup>2</sup> )
<b>Elevation speed/acceleration</b>	35°/sec (72°/sec <sup>2</sup> )
<b>Ready-to-fire-rounds</b>	80 (on gun mount)
<b>Range, max</b>	16000 m standard ammo 20000 m with extended range OTO SAPOMER Ammunition 40000 m with guided long range (GLR) Vulcano 76 ammo (in development)
<b>Cooling system</b>	sea water - fresh water for flushing
<b>Electrical power supply</b>	440V, 3 -phase, 60Hz, main circuit; 115V, I -phase, 400Hz, servo and synchro network.

**LAMPIRAN B**  
**HASIL PENGUJIAN**

## BIODATA PENULIS




Foto Berwarna  
4x6 cm

Hari Prasetyo Widodo, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Ciamis pada 21 Agustus 1994 silam, Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dalam silsilah keluarga Heru Widodo. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Islam Al-Fajar, kemudian melanjutkan ke SD Islam Al-Fajar, SMP Islam Al-Fajar Bekasi dan SMAN 1 Bogor. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur Mandiri.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah mengikuti UKM Cinematography ITS. Untuk organisasi penulis pernah menjadi bagian dari SAMPAN 9 dalam bidang sponsorship dan pendanaan.

Email:

[harryprasetyow@windowslive.com](mailto:harryprasetyow@windowslive.com)